

32/446 (260) 2<sup>e</sup> ex

**BIBLIOTHEEK  
STARINGGEBOUW**

**Invloed van bodemverdichting op de wortelontwikkeling van grasland  
op zandgrond**

**F.A. Wopereis**

**Rapport 260**

**DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1994**



**- 3 FEB. 1994**

18h 589110

## REFERAAT

Wopereis, F.A., 1994. *Invloed van bodemverdichting op de wortelontwikkeling van grasland op zandgrond*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 260, 94 blz.; 14 fig.; 36 tab.; 37 ref.; 3 aanh.

Op het Regionaal Onderzoek Centrum Cranendonck is van 1988 t/m 1992 onderzoek verricht naar de invloed van belasting door berijding op de wortelontwikkeling van grasland op zandgrond. De resultaten van een oriënterende voorproef worden vergeleken met de resultaten afkomstig van 3 opnamen in 24-voud tijdens het groeiseizoen van 1990. Het verband wortelontwikkeling tussen de aangebrachte belasting (4, 8 en 16 ton) is statistisch onderzocht bij zowel uitsluitend maaien als gemengd gebruik. Belasting van grasland op zwak lemige zandgrond (onder droge omstandigheden) heeft geen nadelige invloed, noch op de wortellengte noch op de droge-stofproductie van gras.

Trefwoorden: belasting, berijding, bodemverdichting, beworteling, grasland.

ISSN 0927-4499

©1994 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)  
Postbus 125, 6700 AC Wageningen  
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

## INHOUD

	Blz.
WOORD VOORAF	9
SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	13
2 VOORPROEF	15
2.1 Materiaal en methoden	15
2.1.1 Proefopzet en inrichting proefveld	15
2.1.2 Bodemgesteldheid	15
2.1.3 Verdichting met trilwals	17
2.1.4 Parameters voor bodemverdichting	19
2.1.5 Karakterisering beworteling	21
2.2 Resultaten voorproef	24
2.2.1 Heterogeniteit proefveld	24
2.2.2 Tensiometerwaarnemingen	24
2.2.3 Karakterisering van bodemverdichting	25
2.2.4 Kwantificering beworteling	31
2.2.5 Vergelijking onderhoudstechnieken	35
3 SPLITPLOTPROEF BODEMBEHANDELING GRASLAND	37
3.1 Proefopzet en inrichting proefveld	37
3.1.1 Bepaling tijdstip van belasting	39
3.1.2 Verdichten met belastingframe	39
3.1.3 Bepaling van vereiste bemonsteringsdiepte	41
3.1.4 Bemonstering van graswortels en bodemdichtheid	41
3.1.5 Laboratoriumwerkzaamheden aan grond- en graswortelmonsters	43
3.1.6 Metingen aan graswortels met de Quantimet	43
3.1.7 Analyse wortel-grondcontact met behulp van slijpplaten	44
3.2 Resultaten splitplotproef	45
3.2.1 Preferente stroming	45
3.2.2 Overzicht Ip-waarden	46
3.2.3 Bewortelingscijfers 1989	47
3.2.4 Wortel-grondcontact (wgc)	48
3.2.5 Resultaten pF-onderzoek	52
3.2.6 Weersgesteldheid	53
3.3 Statistische bewerking van data van 3 sneden in 1990 voor bodemdichtheid	55
3.3.1 Invloed van belasting op bodemdichtheid	55
3.3.2 P-waarden voor effecten van belasting op dichtheid	55
3.3.3 Bodemdichtheid in afhankelijkheid van gebruik	56
3.3.4 Bodemdichtheid in afhankelijkheid van belasting	57
3.3.5 Interacties van belasting en gebruik op dichtheid (Ip)	57
3.4 Statistische bewerking van data van 3 sneden met betrekking tot wortellengte in 1990	58
3.4.1 Invloed van belasting en/of gebruik op wortellengte	58

	Blz.
3.4.2 P-waarden voor effecten van belasting op wortellengte volgens Quantimet	59
3.4.3 Wortellengte in afhankelijkheid van gebruik	59
3.4.4 Wortellengte in afhankelijkheid van belasting	60
3.4.5 Interacties van gebruik en belasting op wortellengte	61
3.4.6 Relaties tussen wortellengte volgens de Intersect-methode en belasting en gebruik (alleen 5de snede 1990)	61
3.4.7 Droge stof versus wortellengte	63
3.4.8 Losse-zodenproblematiek	64
4 DISCUSSIE	65
5 SYNTHESE	69
6 CONCLUSIES EN PRAKTISCHE ASPECTEN	71
LITERATUUR	73
AANHANGSELS	
1 Basisgegevens snede 1 1990	77
2 Basisgegevens snede 2 1990	83
3 Basisgegevens snede 5 1990	89
TABELLEN	
1 Effect trilproeven op perceel 32	18
2 Tensiometerwaarden in cm waterkolom op 7 cm diepte van perceel 32 (voorproef)	25
3 Indringingsweerstand van vier bodemlagen op drie tijdstippen	27
4 De mate van bodemverdichting uitgedrukt met behulp van vier parameters	29
5 Correlatiecoëfficiënten voor het verband tussen de indringingsweerstand enerzijds en de dichtheid Pd, het poriëngetal (e), de poriënfractione $\phi_p$ en de poriëindex (Ip) anderzijds op twee verschillende bemonsteringsdata	29
6 Poriëndistributie in volume% van object A, B en C	30
7 Wortellengte per eenheid bodemvolume (RLD)	32
8 Variatiecoëfficiënten (%) van de metingen van de wortellengte per eenheid bodemvolume op twee bemonsteringsdata	33
9 Homogeniteit van de beworteling over de vier bodemlagen van het bewortelbaar profiel, uitgedrukt aan de hand van een homogeniteitsindex (HI)	34
10 Root Area Index (RAI) van de vijf proefobjecten op twee bemonsteringsdata	34
11 Droge dichtheden in kg/cm <sup>3</sup> met standaardafwijking (sa) bepaald in 1988 en 1989	41
12 Gemiddelde Ip-waarden 1988 t/m 1992 per laag en per object	46
13 Wortelontwikkeling per object op 3 verschillende tijdstippen	47
14 Wortellengten in cm per cm <sup>3</sup> grond (Intersectmethode) 1989 snede 2	47
15 Wortellengten in cm per cm <sup>3</sup> grond (vlg. Quantimet) 1989 snede 5	48

	Blz.
16 Gemiddeld aantal spruiten versus Iw gemeten op 12 en 28 juli 1989	48
17 Aantal wortels geteld in horizontaal genomen slijpplaat onderverdeeld in 3 klassen van wortel-grondcontact. Diepte 17 cm - mv.	49
18 Vergelijking wortellengte in $\text{cm/cm}^3$ vlg. slijpplaat en Quantimet	50
19 Totale berekende wortellengte bij een bewortelingsdiepte van 40 cm voor de eerste, tweede en vijfde snede in 1990 uitgedrukt in $\text{km/m}^2$	50
20 Homogeniteit in beworteling voor de eerste, tweede en vijfde snede in 1990 en tussen haakjes de Hi-waarden uit de voorproef	51
21 Gemiddelde diameter van graswortels per belastingtrap en per laag in micrometer met bijbehorende standaardafwijking	51
22 Cumulatieve neerslagtekorten in mm over de periode april t/m september met overschrijdingskansen ten opzichte van Midden- en Oost-Brabant	54
23 P-waarden voor effect van belasting en gebruik op Ip voor 3 snedes in 1990	56
24 Gemiddelde Ip-waarden onder gebruik maaïen resp. beweiden per laag	56
25 Gemiddelde dichtheid (Ip) per bodemlaag in afhankelijkheid van belasting voor 3 snedes in 1990	57
26 Interacties van belasting en gebruik op dichtheid (Ip)	57
27 P-waarden voor effect van gebruik en belasting op wortellengte vlg. de Quantimet (effecten zijn significant voor $p < 0,05$ )	59
28 Gemiddelde wortellengte ( $\text{cm/cm}^3$ ) bij maaïen respectievelijk beweiden	60
29 Effect van de belasting op de gem. wortellengte in 1990. Gemiddelde wortellengte in $\text{cm/cm}^3$ volgens de Quantimet. Tussen haakjes de gemiddelde wortellengte volgens de Intersect-methode (1988)	60
30 Invloed van belasting in combinatie met graslandgebruik (maaïen of weiden) op de gemiddelde wortellengte ( $\text{cm/cm}^3$ ) per laag en per snede in 1990	61
31 Effect van gebruik op de wortellengte volgens Intersect-methode, gemiddelde wortellengte ( $\text{cm/cm}^3$ ) bij maaïen respectievelijk beweiden in 1990	61
32 Effect van de belasting op de gemiddelde wortellengte in 1990, gemiddelde wortellengte in $\text{cm/cm}^3$ volgens de Intersect-methode	62
33 Invloed van belasting in combinatie met graslandgebruik (maaïen of weiden) op de gemiddelde wortellengte ( $\text{cm/cm}^3$ ) per laag en per snede	62
34 Vergelijking wortellengten Quantimet versus Intersect-methode vijfde snede	62
35 Relaties tussen de beide gebruikte telmethoden Quantimet- versus Intersect-methode	63
36 Relaties tussen wortellengte versus droge-stofopbrengst van gras in 1990	63

## FIGUREN

1 Plattegrond voorproef 1988	16
2 Relatie tussen Ip en bodemdichtheid in afhankelijkheid van het organische-stofgehalte	20
3 Schematische weergave van het gebruik en verbruik van de in de bruto-fotosynthese vastgelegde energie uitgedrukt in procenten van de totale brutofotosynthese	22

	Blz.
4 De variatie in aantal nieuwe wortels (langer dan 2,5 cm) bij Engels raaigras in de loop van het jaar	22
5 Droge-stofproduktie van wortels en spruiten bij ongestoorde groei (getrokken lijn) en een vierwekelijks maairegiem (stippellijn)	23
6 Gemiddelde indringingsweerstand met variatie uiteengezet tegen de profiel diepte voor vijf objecten	26
7 Frequentieverdeling van worteldiameters van monsters van drie objecten	35
8 Plattegrond van de splitplotproef	38
9 De dichtheid van de proefveld-grond als functie van het vochtgehalte	39
10 Trekker met getrokken en volledig belast frame	40
11 Minimum aantal herhalingen (in relatie tot de variatie-coëfficiënt) benodigd om een verschil tussen twee gemiddelden te kunnen onderscheiden met behulp van de t-toets ( $\alpha = 0,05$ ) (Noordwijk et al. 1985)	42
12 Fotocopie van een geprepareerd graswortelmonster ten behoeve van wortellengtemeting met de Quantimet	45
13 Vocht karakteristieken van grondmonsters uit de A-horizont van een zwak lemige verwerkte veldpodzolgrond (5-12 cm - mv.). Object no. 379 Cranendonck voorjaar 1989	52
14 Cumulatief neerslagtekort (mm) Cranendonck/Eindhoven per decade gedurende de periode april t/m september voor de jaren 1988 t/m 1992	54

## WOORD VOORAF

Naar aanleiding van klachten uit de praktijk over problemen met het loslaten van de zode en een verslechterde interne drainage van grasland, is in 1986 de Werkgroep Bodemverdichting Grasland in het leven geroepen. In deze werkgroep participeren: het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR); het Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG); de vakgroep Grondbewerking van de LH, thans Landbouwniversiteit (LUW); het Consulentenschap in Algemene Dienst (CAD) voor Bodem-, Water- en Bemestingszaken in de veehouderij, thans IKC-VZ; het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) en de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka) die thans beide in het Staring Centrum zijn opgegaan.

Doel van de werkgroep was om in eerste instantie de problemen met betrekking tot het grasland verder te verkennen, en daarna eventueel een onderzoek in te stellen. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een proefopzet 'Bodembehandeling bij blijvend grasland'. Het aandeel van de afdeling Bodemgebruik van Stiboka, thans LandEvaluatieMethoden (LEM) van DLO-Staring Centrum, heeft zich toegespitst op het karakteriseren en vastleggen van de mate van bodemverdichting en de invloed hiervan op de beworteling van het proefveld.

Dit verslag is een weergave van het bodemkundige gedeelte van het onderzoek inclusief bewortelingsaspecten. Over het onderzoek naar gewasopbrengst-effecten wordt afzonderlijk gerapporteerd door het PR.

Het voor U liggende verslag van dit onderzoek zou vanwege het tijdrovende karakter van met name bewortelingsonderzoek aan gras niet mogelijk zijn geweest zonder de hulp van anderen. Van een aantal mensen die hebben meegedacht en meegewerkt om dit onderzoek tot een goed einde te brengen, wil ik met name noemen de leden van bovengenoemde werkgroep. In alfabetische volgorde waren dat: J. van den Akker, W. Arts, L. Beyer, C.A. van Diepen, H. Everts, F.R. Goosensen, J. Koolen, P. Lerink, Th. Reuling, C.B.H. Schneider, P. Snijders, B. Wouters onder de bezielende leiding van de voorzitter A.L.M. van Wijk. Zij hebben in hoge mate mede richting gegeven aan dit onderzoek en tijdens de werkgroepvergaderingen en excursies gefungeerd als klankbord en het nodige kritische commentaar geleverd. Niet onvermeld mag blijven de medewerking van de heren Romme en van de Werff, destijds respectievelijk bedrijfsleider en onderzoeker op het proefstation de Cranendonck met hun medewerkers. Zonder hun bereidwillige medewerking was een onderzoek als dit bij voorbaat kansloos geweest. Een speciaal woord van dank aan Wim Arts en Johan van Maanen van het IMAG die met hun kennis en equipment de proef een meer wetenschappelijke basis gaven en aan Harm Everts, mijn trouwe compaan op de lange ritten naar Soerendonck, die mij en passant tijdens de rit bijschoolde in de moderne praktische weidebouw. Dank ben ik ook verschuldigd aan:

Theo Spek, student aan de Landbouwniversiteit Wageningen, die in 1988 bij de afdeling Landevaluatiemethoden onderzoek heeft gedaan aan graswortels op het ROC de Cranendonck. Zijn bevindingen met betrekking tot beworteling in relatie tot bodemverdichting, neergelegd in zijn scriptie ter afsluiting van een doctoraalvak graslandkunde, zijn voor

zover relevant voor het vervolgonderzoek verkort weergegeven in dit rapport in paragraaf 2.2 'Resultaten Voorproef';

Hendrik Bosma, stagiair van de Agrarische Hogeschool Friesland AHOF te Leeuwarden, die in 1990 een groot deel van het vuile werk met betrekking tot het bewortelingsonderzoek voor de eerste snede (schoningsproces) voor zijn rekening heeft genomen. Bovendien heeft hij onder supervisie van Dik Schoonderbeek, Quantimet-operator, de wortelmetingen uitgevoerd voor de eerste snede in 1990;

De zusjes Rosy en Pushpa Krabbenborg met hun vriendin Carmen Iglesias, die in de zomer- en kerstvakantie van 1990 als vakantiekrachten gewerkt hebben aan het prepareren en het tellen van alle graswortelmonsters betrekking hebbend op de tweede en laatste snede volgens de Line Intersect methode;

Jan Oude Voshaar, statisticus, die mij met raad en daad heeft bijgestaan bij de analyse van het cijfermateriaal;

Kees van Diepen, afdelingshoofd, die mijn concepten kritisch heeft doorgenomen en van commentaar voorzien.

Graag wil ik bovengenoemde personen nogmaals van harte danken voor hun adviezen, onmisbare hulp en toewijding.



## SAMENVATTING

Over de gevolgen van berijden van grasland en de daardoor ontstane bodemverdichting is nauwelijks iets bekend. Om na te gaan welke relatie er bestaat tussen bodemverdichting en grasopbrengst, effect van stikstofbemesting, beworteling en botanische samenstelling is in 1988 een bodemverdichtingsproef begonnen in grasland op lichte zandgrond op het Regionale Onderzoek Centrum Cranendonck bij Maarheeze in Noord-Brabant.

Het onderzoek is uitgevoerd door het Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij in samenwerking met de afdeling Landevaluatiemethoden van het DLO-Staring Centrum (SC-DLO). Met behulp van een speciaal ontworpen belastingframe van het Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen (IMAG) zijn 3 niveaus van verdichting aangebracht in 4 herhalingen. Over deze belastingniveaus zijn 4 stikstoftrappen aangebracht.

Uit de proefresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De verwachte opbrengstderving door bodemverdichting bleef uit;
- Uitgezonderd het eerste proefjaar, leidde bodemverdichting op deze grond onder vrij droge omstandigheden zelfs tot enige opbrengstverhoging;
- De zodebezetting en de botanische samenstelling van de grasmat is door de verdichting niet nadelig beïnvloed;
- Graswortels zijn minder gevoelig voor verdichting dan op basis van ervaring met akkerbouwgewassen werd verwacht;
- Er zijn geen verschillen van betekenis gevonden in wortellengte tussen de 3 niveaus van bodemverdichting.

## 1 INLEIDING

De Nederlandse weidebouw heeft sinds de zestiger jaren een geweldige intensivering doorgemaakt. Boeren voerden de veebezetting per ha op om hun inkomen op peil te houden. De stikstofgiften gingen drastisch omhoog, de sneden werden navenant zwaarder en de mechanisatie werd aan de nieuwe situatie aangepast. Machines met een asdruk tot 12 ton komen regelmatig voor. De keerzijde hiervan is de laatste jaren steeds meer voelbaar geworden. Boeren kampen met fosfaatophoping en nitraatuitspoeling, plasvorming, opbrengstreductie en een versnelde achteruitgang in de botanische samenstelling van hun graszode. De algemene opinie is dat dit laatste een gevolg is van bodemverdichting onder invloed van de toegenomen mechanisatie en verhoogde veebezetting.

De gevolgen van bodemverdichting in de akkerbouw zijn goed bekend. Iedereen kent wel stagnatie van water in trekkersporen, plaatselijk geel worden van het gewas en achterblijven van groei van de gewassen op kopakkers. Bekend is ook de grote gevoeligheid van maïs voor verdichting. Gevolgen van bodemverdichting op grasland zijn er vermoedelijk ook, maar minder in het oog springend. Er wordt sinds de zeventiger jaren een achteruitgang in botanische samenstelling van de grasmat gesignaleerd en op veel plaatsen een verslechtering van de interne drainage. Plaatselijk komt vooral in Noord-Brabant daar nog het euvel bij van het lostrekken van de zode door het vee. Boeren zien zich steeds vaker genoodzaakt hun grasland opnieuw in te zaaien, met alle kosten van dien. Enerzijds wordt door opbrengstreductie verlies geleden, terwijl anderzijds steeds vaker herinzaai nodig is waarvan de kosten tot meer dan 1500 gulden per ha kunnen oplopen, nog afgezien van de opbrengstderving in de eerste fase na herinzaai. Reden te over voor de boeren om zich zorgen te maken over het blijvende karakter van hun grasland.

De bezorgdheid van de veehouders over de mogelijke invloed van zwaar transport op de drogestof opbrengst van gras is door de werkgroep bodemverdichting vertaald in een onderzoeksproject. Doel van dit project was: voor praktijkomstandigheden nagaan wat de nadelige effecten zijn van bodemverdichting op grasland en met welke maatregelen deze nadelen kunnen worden opgeheven. Daartoe diende het onderzoek een brede band van verdichtingstoestanden en naast een maaiproef tevens het meest gangbare graslandgebruikssysteem (gecombineerd gebruik) te omvatten.

Het proefveld werd in eerste instantie gesitueerd op perceel 32 van het Regionaal Onderzoeks Centrum (ROC) de Cranendonck bij Maarheeze. In september 1987 werd de uitgangstoestand van het proefperceel dat een jaar eerder was ingezaaid, vastgelegd met behulp van een Bush-penetrometer. De uitslag was teleurstellend, omdat over het hele perceel binnen 20 cm - mv sprake bleek van een matig tot sterke verdichting, terwijl men in de overtuiging verkeerde met een vrij losse grond van doen te hebben.

Omdat het beoogde perceel niet aan de voorwaarden voor een losse uitgangstoestand voldeed, is toen door de begeleidende werkgroep besloten de uitvoering van de proef tot 1989 op te schorten, perceel 32 opnieuw te ploegen en in te zaaien en in afwachting daarvan in 1988 op een ander perceel een voorproef te starten. In het najaar van 1987

wordt eerst nog op het afgekeurde perceel een proef uitgevoerd naar een geschikte verdichtingsmethodiek, met een trilwals. In 1988 wordt de voorproef gestart waarin de sterk verdichte objecten C, D en E met behulp van de trilwals worden aangelegd. In de loop van dat jaar wordt echter steeds duidelijker dat ook een gedeelte van het voorproefperceel niet aan de eisen van een proefveld voldoet. De variatie in pH binnen het proefveld bleek van grotere invloed op de opbrengst dan de aangebrachte verschillen in dichtheid. Dit is de reden waarom het PR heeft afgezien van verwerking van de opbrengstgegevens. In 1989 wordt op het opnieuw ingezaaide perceel de feitelijke proef in de vorm van een splitplotproef gestart, waarin de effecten van zowel uitsluitend maaien als gecombineerd gebruik (maaïen + beweiden) bij 3 belastingniveaus werden onderzocht. Het aandeel van het SC-DLO in dit project bestond uit het vastleggen van de mate van verdichting en het karakteriseren van de beworteling per onderzoeksobject. De mogelijkheden om dit laatste te realiseren wisselden van jaar tot jaar afhankelijk van de personele capaciteit.

## 2 VOORPROEF (1988)

De achterste helft van perceel 33 werd door het PR en Stiboka op grond van grasmata en profiel uitgekozen om als voorproefperceel dienst te doen. De proef werd opgezet als een blokkenproef met 4 herhalingen.

Het doel was:

- A) een geschikte verdichtingstechniek uit te proberen;
- B) het uittesten van bemonsteringsschema's en -methodieken om de mate van bodemverdichting te karakteriseren;
- C) helpen alvast een keuze te maken uit één van twee onderhoudsmaatregelen die in de eigenlijke proefopzet zou worden meegenomen (paraplow of schudfrees);
- D) een methodiek te ontwikkelen voor het kwantitatief analyseren van de beworteling van gras.

### 2.1 Materiaal en methoden

#### 2.1.1 Proefopzet en inrichting proefveld

Op het perceel werd een proefveld aangelegd bestaande uit 4 objecten B tot en met E, respectievelijk matig verdicht, sterk verdicht, paraplow en schudfrees. Binnen de blokkenproef ontbrak object A, het nulobject (losse grond), om dezelfde reden waarom perceel 32 als proeflocatie werd afgekeurd. Ter vervanging van het nulobject is hiervoor een strook grond onder de heining gekozen. Elk van de 4 objecten lag in viervoud. Dit resulteerde in 16 proefstroken van 6x12 m in gelote volgorde. Elke proefstrook werd door loting nog weer verder opgedeeld in 3 N-regimes (0, 300 en 600 kg N per ha). Dit gaf in totaal 48 proefveldjes (fig. 1). De voorproef kreeg een looptijd van één jaar (1988). De resultaten zijn periodiek besproken in een begeleidingsgroep bestaande uit medewerkers van het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR), Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Instituut voor Mechanisatie Arbeid en Gebouwen (IMAG), Landbouw Universiteit Wageningen (LUW) (afd. Grondbewerking), Consulentenschap in Algemene Dienst (CAD) voor Bodem, Water en Bemestingszaken in de Veehouderij en Zuivel-VZ (huidige IKC-VZ) en de Stichting voor Bodemkartering (Stiboka).

#### 2.1.2 Bodemgesteldheid

Het proefveld bestaat uit zandgrond waarin zich een zwaklemige veldpodzol (Haplaquod) heeft ontwikkeld in matig fijn dekzand. Het perceel is gedraineerd en heeft een gemiddeld hoogste grondwaterstand van 50 cm - mv en een gemiddeld laagste grondwaterstand van 150 cm - mv. Als gevolg van vrij diepe grondbewerking is de bovenste 40 cm van het profiel tamelijk heterogeen van samenstelling (A1 + B2

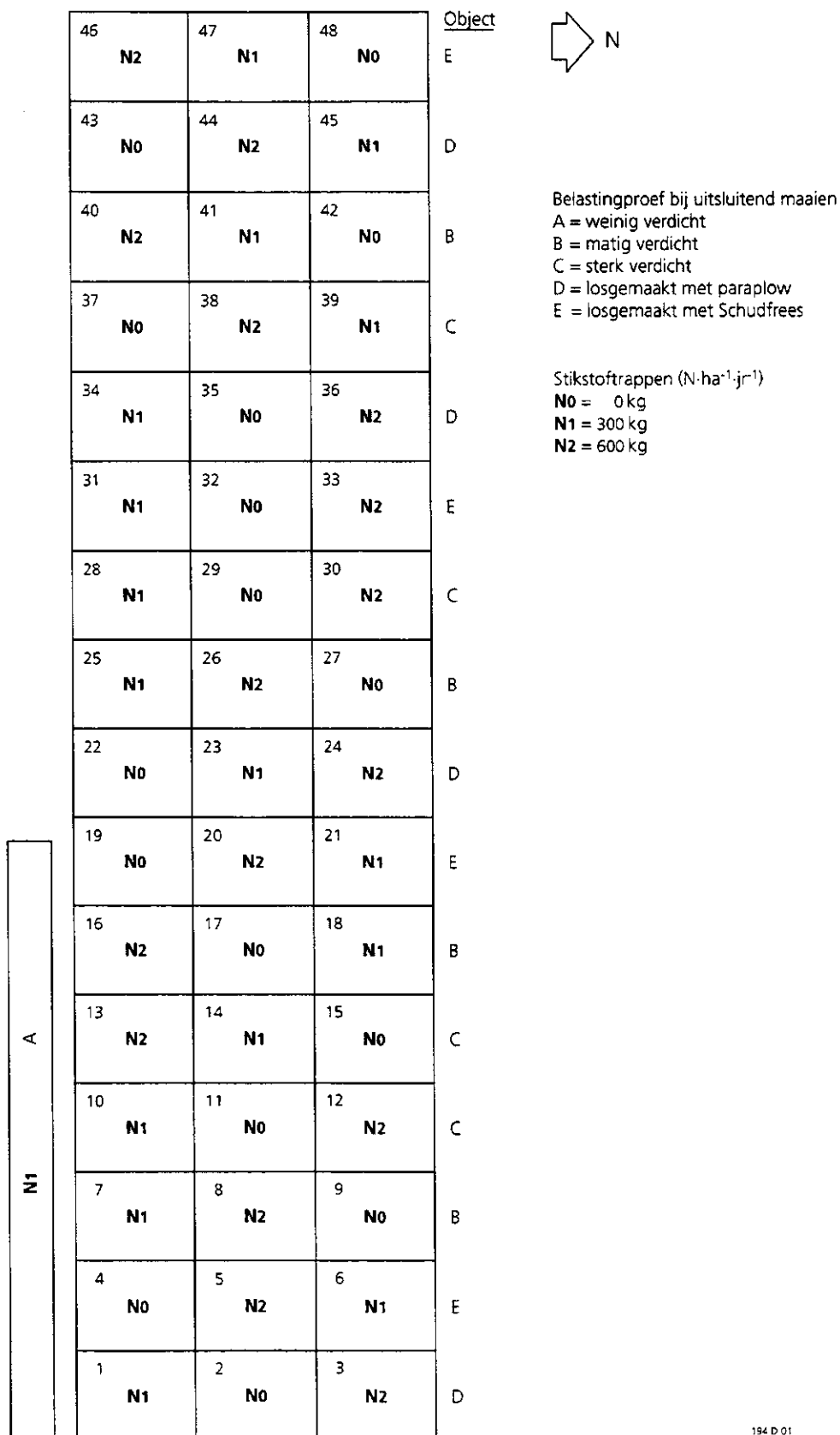


Fig. 1 Plattegrond proefveld bij voorproef 1988

materiaal) met een gemiddeld organische stofgehalte van 3%. Ook de aansluitende B3 is nog spaarzaam beworteld tot ongeveer 50 cm.

### 2.1.3 Verdichting met trilwals

Een van de argumenten voor het aanleggen van de voorproef was, dat uitgezocht moest worden op welke reproduceerbare wijze een 'los' perceel matig, dan wel sterk is te verdichten. De verdichting op de locatie zelf bewerkstelligen door middel van berijden met normale werktuigen c.q. met werktuigen van loonwerkers bleek niet uitvoerbaar, omdat de proefperceeltjes daarvoor te smal waren (6x12 m) en er gevaar voor overlapping bestond.

Gekozen werd daarom voor verdichten met behulp van een trilwals van een wegengbouwfirm. Een trilproef op 11 november 1987 op het voorste deel van perceel 33 zou uitsluitsel moeten geven over de meest geschikte frequentie om te trillen. Getrild werd bij een snelheid van 4 km/uur en bij 5 verschillende frequenties. Met de resultaten van de trilproeven is bij de aanleg van object B t/m E in de voorproef rekening gehouden.

#### *Proef met trilwals*

De gebruikte trilwals had een breedte van 1,80 m en een eigen gewicht van 4490 kg. Middels een traploos verstelbare hendel kon bij verschillende frequenties worden getrild. Bij de laagste frequentie heeft de wals de grootste trillingsamplitude en bijgevolg dus ook de grootste slagkracht. Met behulp van een viltstift werden merktekens aangebracht om met de traploos verstelbare hendel bepaalde frequenties nog eens te kunnen instellen. De proefstrook had een lengte van 125 m en was opgedeeld in 5 stukken van 25 m waarover met getrokken rol per traject een bepaalde trilfrequentie werd gehandhaafd.

Strook 1 is getrild bij de laagste frequentie en zo opklimmend tot proefstrook 5 waarbij de hendel in de hoogste stand stond. Om te kunnen beoordelen welke frequentie het beste de verdichting door berijding in de praktijk zou benaderen, werd vlak naast en evenwijdig aan de trilstrook een spoor gereden door een trekker met een volle tank drijfmest. Bovendien werd langs de andere zijde van de trilstrook een tweede strook getrild waar de procedure als beschreven nog eens in drievoud werd herhaald.

#### *Resultaten van proef met trilwals*

In eerste instantie is getracht de effectiviteit van de verdichtingstechniek te beoordelen met behulp van de indringingsweerstand, gemeten met een Bush-penetrometer. Uit de penetrometerwaarden, die voor en na de eenmalige behandeling werden gemaakt, kwamen geen duidelijke verschillen in indringingsweerstand naar voren. Ook was uit deze gegevens niet duidelijk op te maken, bij welke trilfrequentie de verdichting het meest effectief was. Afgaande op de insporing leek de laagste trilfrequentie de grond het meest te verdichten. Ook de indringingsweerstand van de andere strook waar 3 keer getrild was, gaven geen duidelijke indicatie van een toename in dichtheid. Dit was des te opmerkelijker omdat daar sprake was van een duidelijke insporing tot 4 cm - mv.

Schothorst en Broekhuizen (1987) geven de volgende verklaring voor dit fenomeen. Op het moment dat de grond wordt belast, wordt in vochtige grond die last vrijwel geheel door het water gedragen. Er is enige tijd nodig om het overspannen water te laten afvloeien (hydro-dynamische periode). Tot het moment dat het bodemskelet de opgelegde last in zijn geheel draagt, zal het poriënwater de last opvangen. Water is ongeveer 75 keer visceuzer dan lucht bij 10 graden celsius, met andere woorden: zetting (consolidatie) is een langzamer proces dan verdichten, waarbij alleen lucht behoeft te worden verdreven. Het is dus achteraf begrijpelijk, dat wij op de trilstrook bij die insporing geen hoge indringingsweerstand hebben gemeten, omdat zo kort na het berijden het vocht in de bodem nog in overspannen toestand verkeerde.

Waar met behulp van indringingsweerstand geen verschil werd gemeten, kon met behulp van onder andere de poriënindex wel een duidelijk verschil in dichtheid tussen 1 en 3 keer walsen worden aangetoond.

De toename in dichtheid in het veld zichtbaar door de diepere insporing komt in tabel 1 tot uiting door een afname in de grootte van de poriënindex ( $I_p$ ).

*Tabel 1 Effect trilproeven op perceel 32*

veld	laag	glv	één keer trillen			drie keer trillen		
			rho	$I_p$	Vp	rho	$I_p$	Vp
1	5-10	1,86	1,51	1,05	42,0	1,71	0,76	34,6
1	15-20	1,87	1,55	0,98	40,5	1,66	0,82	36,3
2	5-10	2,98	1,45	1,08	44,1	1,60	0,85	38,3
2	15-20	3,61	1,42	1,10	44,9	1,48	1,00	42,6
3	5-10	3,17	1,50	0,99	42,0	1,60	0,84	37,9
3	15-20	3,95	1,53	0,91	40,6	1,47	1,00	42,9
4	5-10	2,88	1,51	0,99	41,7	1,61	0,84	37,7
4	15-20	3,10	1,49	1,02	42,6	1,56	0,90	39,5
5	5-10	3,11	1,54	0,96	40,9	1,65	0,80	36,5
5	15-20	2,61	1,48	1,00	42,6	1,59	0,85	38,4
refer.	5-10	3,48	1,58	0,85	38,7	Het referentieveld ligt naast veld nr. 3		
refer.	15-20	3,26	1,50	0,99	42,0			

Verklaring: glv = gloeiverlies  
rho = stoofdroge dichtheid  
 $I_p$  = poriënindex  
Vp = poriënvolume in procenten

Overigens blijkt uit deze trilwalsproef de bovengrond na één behandeling met de trilwals een poriënindex ( $I_p$ ) te hebben van 0,95. Na 3 behandelingen is de poriënindex teruggelopen tot 0,81, dat wil zeggen dat de dichtheid is toegenomen van normaal onverdicht tot bijna sterk verdicht.

Herhaald trilwalsen onder deze omstandigheden heeft dus wel degelijk een sterk verdichtend effect, dat echter in dit vroege stadium niet met de penetrometer maar wel door bemonstering zichtbaar gemaakt kon worden, onder andere met behulp van de poriënindex.

Op grond van deze resultaten werd besloten in de voorproef een object matig en een object sterk verdicht op te nemen, en de verdichting met dezelfde wals bij hoge respectievelijk lage trilfrequentie uit te voeren.

#### 2.1.4 Parameters voor bodemverdichting

De mate van bodemverdichting is op verschillende wijze te karakteriseren. Gebruikt werden:

1	indringingsweerstand	( $I_w$ )	dimensie: kPa
2	stoofdroge dichtheid	( $\rho_d$ )	g/cm <sup>3</sup>
3	poriëngrootteverdeling	(-)	-
4	actueel poriëngetal	( $e_{act.}$ )	-
5	poriënfraction	( $\phi_p$ )	%
6	poriënindex	( $I_p$ )	-

De eerste twee grootheden zijn direct aan de grond bepaald, de overige zijn afgeleid van de droge dichtheid.

##### *Indringingsweerstand*

De indringingsweerstand werd gemeten met de Bush-penetrometer voorzien van een ASAE B-conus met een tophoek van 30 graden en een oppervlakte van 1,3 cm<sup>2</sup>. De Bush-penetrometer heeft met zijn  $I_w$ 's als sterk punt dat de gegevens direct in het veld visueel beschikbaar zijn. Nadeel is echter dat de gegevens beïnvloed worden door veranderlijke bodemvariabelen, zoals het vochtgehalte, organisch stof- en lutumgehalte. Op zandgrond is vooral het vochtgehalte de storende factor (Wit, 1988).

##### *Stoofdroge dichtheid*

De droge dichtheid werd bepaald met behulp van ringmonsters met een inhoud van 250 cm<sup>3</sup>. Door de inhoud van de ring voor en na het droogproces te wegen, is zowel de droge dichtheid als het vochtgehalte vast te stellen.

##### *Poriëngrootteverdeling*

De poriëngrootteverdeling is slechts incidenteel bepaald vanwege de hoge laboratoriumkosten die eraan verbonden zijn. Om deze grootheid vast te stellen worden ongestoorde grondmonsters in kunsthars gegoten waarna er met een speciale slijpmachine doorzichtige slijpplaten (< 20  $\mu$ m) van worden gemaakt. Daarna wordt met de Quantimet bij doorvallend licht het oppervlak (donkergekleurd) aan poriën bepaald.

##### *Poriëngetal*

Het poriëngetal ( $e$ ) geeft het volume aan poriën weer per volume-eenheid vaste delen. Om het poriëngetal te kunnen berekenen is het nodig de dichtheid en het gehalte aan organische stof van de stoofdroge grond te kennen.



### Poriënfractie

Het deel van het bodemonmonster dat uit poriën bestaat wordt poriënfractie genoemd. Vaak wordt deze parameter (foutief) vermeld als poriënvolume. De poriënfractie wordt uitgedrukt in procenten

$$\phi_p = \frac{V_p}{V_t} * 100\%$$

waarin  $V_p$  = poriënvolume ( $\text{cm}^3$ ) en  $V_t$  = totaal volume ( $\text{cm}^3$ ).

### Poriënindex

Omdat het droog volumegewicht in sterke mate wordt beïnvloed door het organische stofgehalte, is als alternatief criterium voor de mate van verdichting de poriënindex gebruikt (Van der Sluijs, 1988). De poriënindex relateert het actuele poriëngetal aan het gemiddeld poriëngetal, zoals dat is berekend voor A- en B2-horizonten (Hoekstra en Poelman, 1982). Figuur 2 geeft de relatie weer tussen dichtheid en  $I_p$  voor A- en B2-horizonten van pleistocene zandgronden bij een verschillend gehalte aan organische stof. Een poriënindex tussen 0,93 en 1,07 geldt voor normale niet verdichte gronden.

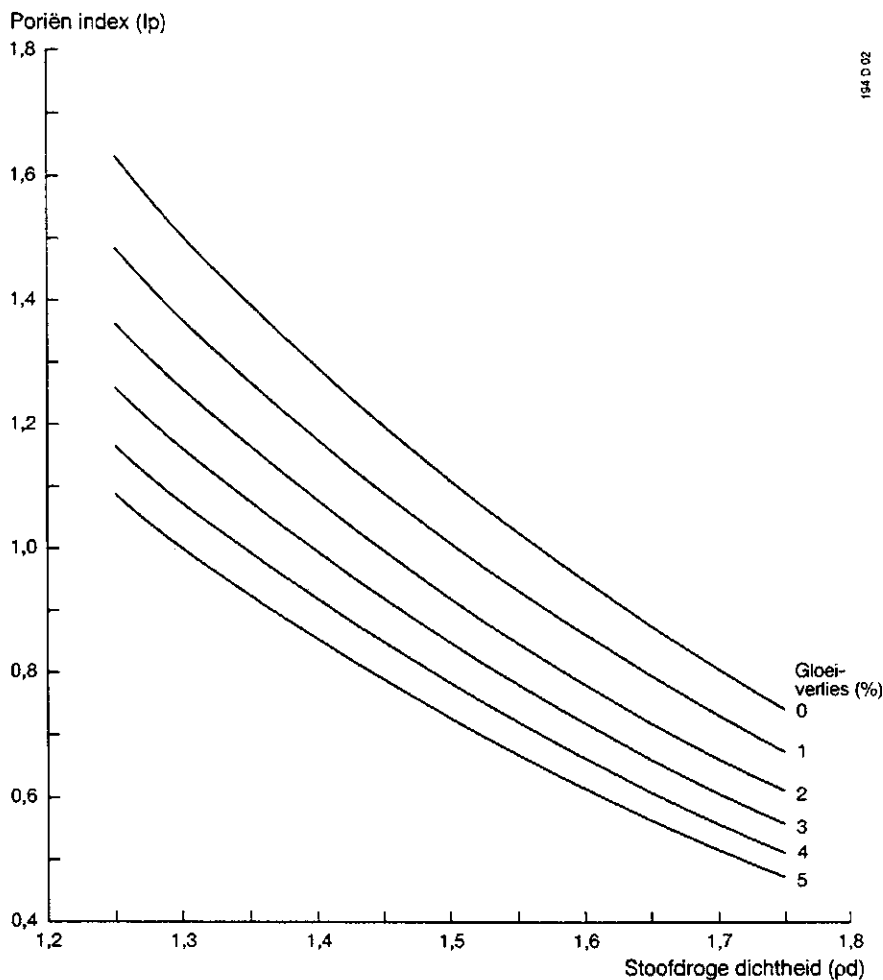


Fig. 2 Relatie tussen  $I_p$  en bodemdichtheid in afhankelijkheid van het organische-stofgehalte

Een index tussen 0,80 en 0,93 wijst op matige verdichting en een index  $< 0,80$  op een zeer sterke verdichting. Boven 1,07 is een grond los en boven 1,20 zelfs zeer los te noemen.

#### 2.1.5 Karakterisering beworteling

Er is door Spek (1988) algemene informatie verzameld over het verschil in beworteling tussen één- en tweezaadlobbigen en een meer uitvoerige literatuurstudie verricht naar de effecten van bodemverdichting speciaal met betrekking tot de beworteling van grasland. Onderstaande gegevens zijn goeddeels ontleend aan deze doctoraalscriptie.

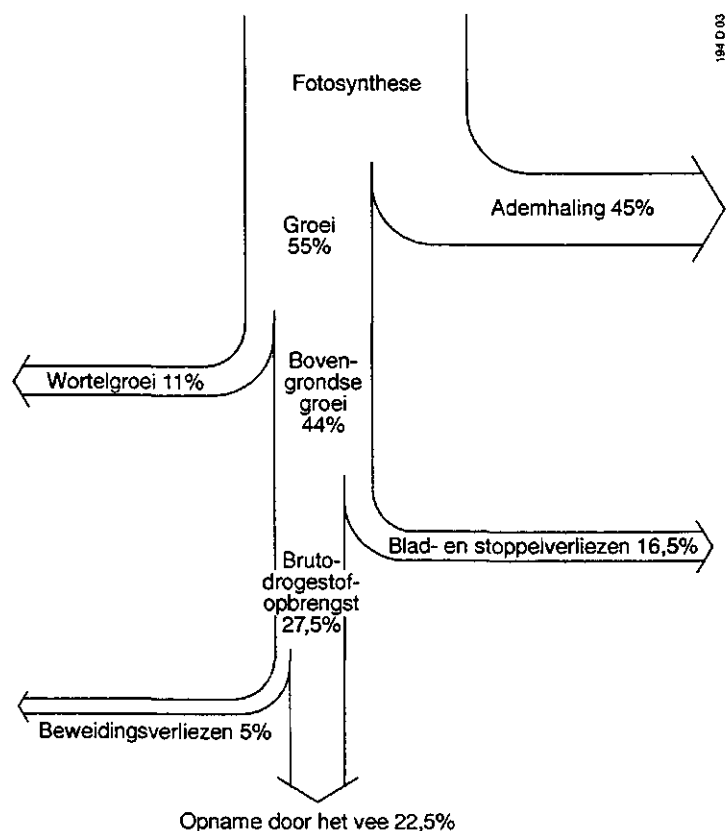
##### *Anatomie*

De anatomie van wortels van monocotylen (zoals grassen) wijkt essentieel af van die van dicotylen (hakvruchten bijvoorbeeld). Graswortels kennen geen diktegroei, zoals de wortel van bijvoorbeeld de aardappel (Newman, 1966). Dat heeft verstrekkende gevolgen voor de wateropname. Dicotylen hebben namelijk, wanneer ze diep wortelen, de mogelijkheid om door secundaire diktegroei hun vaatweefsel uit te breiden en daardoor de axiale weerstand te verlagen. Graswortels missen deze compenserende mogelijkheid; bovendien hebben dunnere wortels op doorsnee relatief een kleiner oppervlak vaatweefsel dan dikkere, wat watertransport vanuit diepe lagen door fijne wortels energetisch erg ongunstig maakt. Wind (1955) geciteerd door van Noordwijk en de Willigen (1987) noemt voor fijne zijwortels van gras een lengte groter dan 50 cm energetisch zeer ongunstig.

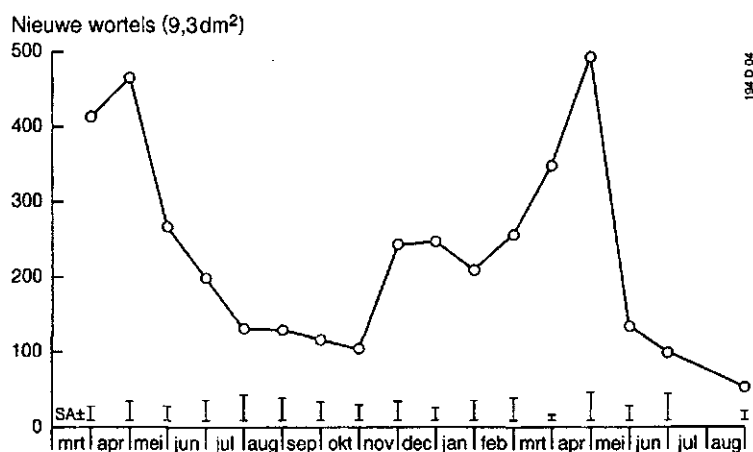
Ook de morfologie van het wortelsysteem van grassen wijkt sterk af van dat van dicotylen. Grassen hebben geen penwortel, maar beschikken over een uitstoelingsstreek. Kenmerkend voor dit wortelsysteem is de aanwezigheid van veel bijwortels die ontstaan vanuit de onderste knopen van de stengel. Graswortels hebben een beperkte levensduur afhankelijk van beheer en tijdstip van ontwikkeling. Uit potproeven met Engels raai bleek dat graswortels ongeveer één jaar stand houden tegen een half jaar onder een maairegiem (Troughton, 1981). Voorjaarswortels leven gemiddeld korter dan najaarswortels (2 respectievelijk 6 maanden).

##### *Bewortelingseigenschappen*

Van de energie die bij de bruto-fotosynthese wordt vastgelegd komt ongeveer 11% ter beschikking voor wortelontwikkeling (fig. 3). De vorming van nieuwe graswortels heeft vooral plaats in het vroege voorjaar. In de loop van de zomer is de nieuwvorming gering. Er heeft dan meer afbraak en verkurking plaats dan aanmaak van nieuw wortelweefsel (fig. 4). Onder gunstige omstandigheden in de grond kan in de nazomer een licht herstel in nieuwvorming van wortels optreden.



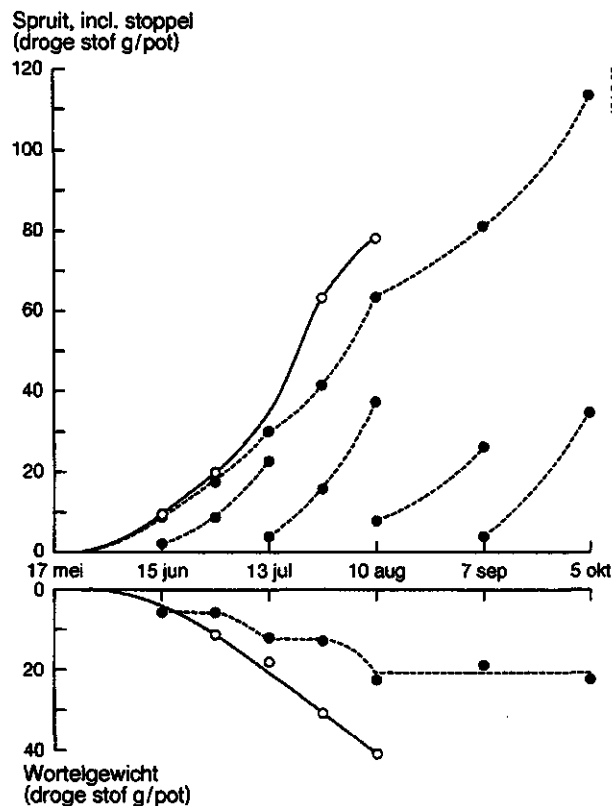
**Fig. 3** Schematische weergave van het gebruik en verbruik van de in de bruto-fotosynthese vastgelegde energie uitgedrukt in procenten van de totale bruto-fotosynthese  
Bron: Sibma & Ennik, 1988



**Fig. 4** De variatie in aantal nieuwe wortels (langer dan 2,5 cm) bij Engels raaigras in de loop van het jaar. (De standaardafwijking is weergegeven door de verticale lijntjes).  
Bron: Williams, 1968

Aanvankelijk is na het inzaaien de wortelontwikkeling van grasland vergelijkbaar met de wortelontwikkeling van akkerbouwgewassen. Op den duur echter treedt onder invloed van beheer en bemesting een concentratie op van wortels in de bovengrond. Bij elke snede wordt de spruit/wortelverhouding verstoord (fig. 5). Vooral in droge zomers zal

als gevolg van stagnatie in het onderhoud, van het wortelgestel een deel van het bestaande wortelstelsel verkurken of zelfs afsterven.



**Fig. 5** Droge-stofproductie van wortels en spruiten bij ongestoorde groei (getrokken lijn) en een vierwekelijks maairegime (stippellijn). Bron: Ennik, 1982.

Nieuwe adventiefwortels vanuit de onderste stengelknopen zullen worden aangemaakt nadat de oorspronkelijke spruit/wortelverhouding is hersteld (Sibma en Ennik, 1988). Deze nieuwvorming van wortels na elke snede leidt tot een grote worteldichtheid, vooral in de bovengrond. Omdat graswortels vooral in het voorjaar worden gevormd, zal een eventueel effect van bodemverdichting op beworteling waarschijnlijk zijn grootste invloed hebben in het voorjaar bij de eerste snede.

#### Wortelparameters

Wortelparameters kunnen op 3 manieren worden uitgedrukt: per individuele plant, per eenheid bodemvolume of per eenheid gewasoppervlak. De eerste parameter leent zich het beste bij onderzoeken naar spruit/wortelverhoudingen, de tweede bij studies naar opname van water en nutriënten en de laatste voor studies op gewasniveau. Uit de probleemstelling: "invloed van belasting op beworteling" zal duidelijk zijn dat onze aandacht vooral uitging naar wortelintensiteit. Als belangrijkste parameter is gekozen de wortellengte per eenheid van bodemvolume ( $\text{cm}/\text{cm}^3$ ).

Ook is aandacht geschonken aan de morfologie van de graswortels. Gekeken is of belasting c.q. beheer (maaien/ gecombineerd gebruik) van invloed zijn op de worteldiameter. De wortelbemonstering had evenals de grondbemonstering uitsluitend plaats op de veldjes met 300 kg N per ha. Bij gebrek aan een nulveld voor wat betreft

verdichtingstoestand, werd in de voorproef als remplaceant hiervoor onder de heining bemonsterd. Vanwege het tijdrovende karakter van het onderzoek zijn bij de voorproef alleen vóór de eerste en bij de tweede maaisnede graswortelmonsters genomen.

Er is gekozen voor wortelbemonstering met de wortelboor met een doorsnede van 4 cm. Er werden steeds 4 monsters boven elkaar genomen.

Monster	Diepte (cm)
1	0 - 7,5
2	7,5-15
3	15,5-25,5
4	25 -35

Het volume van de boormonsters was 94,25 respectievelijk 125,66 cm<sup>3</sup>, wat een geschikte grootte is voor wortellengtemetingen. Elk object werd in 5 herhalingen bemonsterd, zodat per opnamedatum 100 monsters werden genomen (5 objecten x 4 lagen x 5 herhalingen).

## 2.2 Resultaten voorproef

### 2.2.1 Heterogeniteit proefveld

Al vroeg in 1988 bleek het verschil in bodemvruchtbaarheid tussen de objecten groter dan het aangebrachte verschil in behandeling. De oorzaak bleek een verschil in pH-KCl van meer dan één eenheid te zijn. Vooral het achterste deel van het perceel bleek een zeer lage pH te hebben. Alleen een klein aantal proefplekken op het voorste deel van het proefperceel beantwoordden aan de gestelde verwachtingen. Omdat als gevolg van het pH-verschil de noodzakelijke herhalingen ontbraken, konden op grond van de uitkomsten van enkele veldjes door het PR geen betrouwbare uitspraken worden gedaan met betrekking tot dichtheid in relatie tot droge-stofopbrengsten van gras. De gegevens met betrekking tot het bewortelingsonderzoek uitgevoerd door Spek (1988) zijn toevalligerwijze afkomstig van het voorste blok van het proefperceel (met een normale pH) en derhalve wel bruikbaar.

### 2.2.2 Tensiometerwaarnemingen

De gemeten waarden bij beginnende grasgroei op 21 april 1988 (op het perceel van de voorproef) liepen op 7 cm diepte uiteen van -53 cm voor het sterk verdichte object via -97 cm voor het matig verdichte tot -186 cm en -212 cm respectievelijk voor de objecten paraplow en schudfrees. Dus hoe losser de grond is, hoe droger. Dit hangt samen met de capillaire nalevering van bodemvocht uit diepere lagen die bij matige en sterke verdichting (B en C) beter gewaarborgd is dan bij losse A of losgemaakte D en E profielen.

**Tabel 2 Tensiometerwaarden in cm waterkolom op 7 cm diepte van perceel 32 (voorproef)**

Datum	15/3	23/3	5/4	11/4	14/4	18/4	21/4
obj A	-37	-62	-108	-135	-179	-226	-160
B	-32	-49	-91	-109	-113	-92	-97
C	-30	-34	-78	-77	-92	-60	-53
D	-37	-52	-100	-113	-171	-146	-186
E	-34	-65	-106	-125	-273	-232	-212
grondwaterstand in cm - mv					87	87	86

De tensiometeropnamen zijn in het groeiseizoen gestaakt, omdat de met water gevulde slangetjes vooral in droge perioden een aantrekkelijke vochtbron vormden voor muizen en constant werden stuk geknaagd.

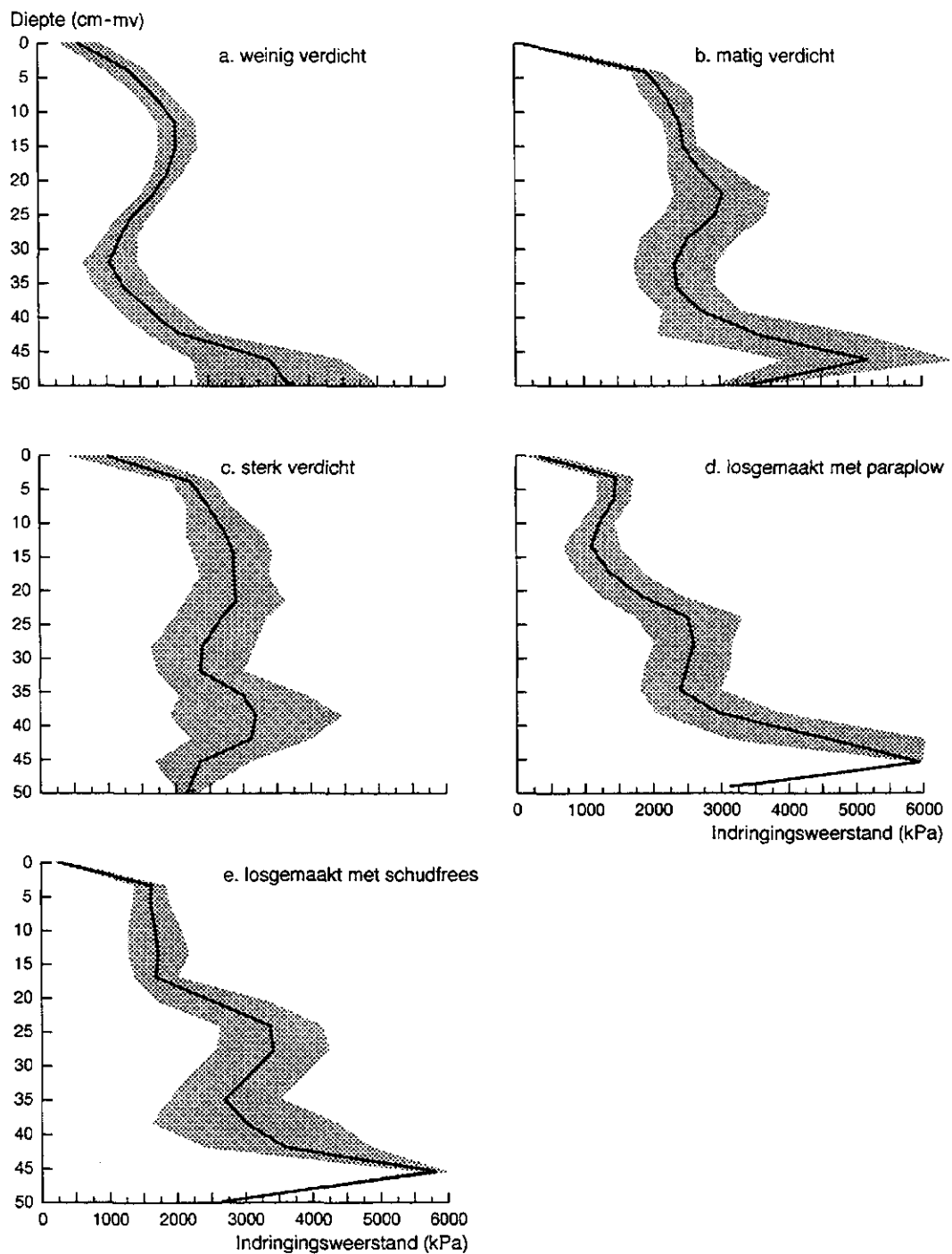
### 2.2.3 Karakterisering van bodemverdichting

Zoals reeds in hoofdstuk 2.1.4 uiteengezet is, zijn er in dit onderzoek verschillende parameters gebruikt om de mate van bodemverdichting vast te leggen. Dat zijn achtereenvolgens: de indringingsweerstand, de stoofdroke dichtheid ( $\rho_d$ ), het actueel poriëngetal ( $e$ ), de poriënfraction ( $\phi_p$ ) en de poriëindex ( $I_p$ ). In tabel 4 staan de waarden voor de verschillende parameters vermeld. De mate van bruikbaarheid van deze bodemparameters voor de karakterisering van de bodemverdichtingsgraad van de grond wordt hierna besproken. In de tabellen 3 en 4 worden de waarden vermeld die voor de verschillende parameters zijn gemeten.

#### *Indringingsweerstand*

Een veel gebruikte, maar tamelijk grove parameter is de indringingsweerstand ( $I_w$ ). Deze parameter is erg gevoelig voor veranderingen in het vochtgehalte van de grond. Een goede vergelijking van gronden is alleen mogelijk bij een gelijk vochtgehalte. Dat blijkt in tabel 3 uit de toename in  $I_w$  op 26/5 ten opzichte van 22/3 in 1988. Op 22 maart was de grond nog op veldcapaciteit, terwijl bij de oogst van de tweede snede de bovengrond al flink was opgedroogd. Vergelijk ook de tensiometerwaarden van 23 maart 1988, nog geen grasgroei, met die van 21 april 1988 met beginnende grasgroei (tabel 2).

In figuur 6 is de indringingsweerstand uitgezet tegen de diepte. De metingen zijn verricht op 26 juni 1988 na een regenperiode. De drukhoogte in de bovengrond bedroeg toen om en nabij -90 cm. De indringingsweerstand is als gevolg van het 'smerend effect' van het vocht betrekkelijk laag. Bij lagere drukhoogten (drogere grond) nam de indringingsweerstand op dezelfde objecten fors toe. De humusarme ondergrond (C-horizont) begint overal op 40 cm - mv.



**Fig. 6** Gemiddelde indringingsweerstand met variatie uitgezet tegen de profieldiepte voor 5 objecten

**Tabel 3 Indringingsweerstand van vier bodemlagen op drie tijdstippen**  
**22/3/88** Begin groeiseizoen  
**26/5/88** Tijdstip tweede snede  
**28/6/88** Tijdstip derde snede

Object	Laag	Diepte in cm - mv.	Indringingsweerstand (kPa)		
			22/3/88	26/5/88	28/6/88
A	1	0 - 7,5	1094	2236	1438
	2	7,5-15	1679	2628	1947
	3	15 -25	1376	1947	1622
	4	25 -35	1122	1668	1119
B	1	0 - 7,5	1751	2910	2030
	2	7,5-15	1819	2871	2374
	3	15 -25	1730	2341	2835
	4	25 -35	1806	2215	2359
C	1	0 - 7,5	2106	2773	2351
	2	7,5-15	2075	3279	2743
	3	15 -25	2189	2921	2752
	4	25 -35	2013	2227	2543
D	1	0 - 7,5	936	1922	1423
	2	7,5-15	434	1939	1117
	3	15 -25	219	1777	1844
	4	25 -35	865	1783	2432
E	1	0 - 7,5	1279	2251	1619
	2	7,5-15	950	2389	1702
	3	15 -25	1230	2087	2117
	4	25 -35	1713	2272	3036

A = weinig verdicht    D = losgemaakt paraplow  
 B = matig verdicht    E = losgemaakt schudfrees  
 C = sterk verdicht

De curven A, B en C geven een indruk van het verdichtingsproces zoals zich dat op deze gronden in de praktijk manifesteert. Curve A (genomen onder de heining) geeft een idee van de verdichting door spontane bezakking onder invloed van de neerslag. Het profiel is tussen 20 en 40 cm vrij los. De bovengrond is weliswaar vaster, maar toch lang niet in die mate als bij B en C (respectievelijk matig en sterk verdicht). Curve B blijkt ten opzichte van curve A onder invloed van normaal graslandbeheer met name tussen 20 en 40 cm sterk te zijn verdicht. Curve C is onder invloed van de trilwals ten opzichte van B in zijn geheel wat naar rechts opgeschoven. De curven D en E staan voor profielen die vanuit een verdichte situatie zijn losgemaakt met respectievelijk de paraplow en de schudfrees. Wanneer de Iw in zandgronden waarden bereikt van meer dan 3 MPa wordt wortelgroei sterk beperkt of onmogelijk (Houben, 1974). Deze constatering geldt met name voor xero-zandgronden, gronden die van nature vrij open zijn zoals de moderpodzol- en vorstvaaggronden van Noord-Limburg.

Zeer veel voorkomende gronden in zandgebieden echter zijn ontstaan onder natte omstandigheden (de zogenaamde hydro-zandgronden), zoals de veldpodzol-, gooreerd-,



en beekedgronden. Deze gronden hebben van nature een vastere pakking dan de xero-zandgronden en zijn daardoor beter beschermd tegen anthropogene verdichting dan de eerst genoemde (De Kreij, 1975). Op deze gronden worden Iw's van meer dan 3 mPa onder de Ap-horizont al snel bereikt, zonder dat dit tot een absolute barrière voor wortelgroei van gras hoeft te leiden. Op grasland leveren de graswortels een bijdrage aan de mechanische sterkte van de zode. Dit laat zich verklaren door het feit dat het bodemmateriaal rond de indringende conus zich pas laat verplaatsen als de wortels afgescheurd worden.

#### *De stoofdroge dichtheid*

De stoofdroge dichtheid blijkt een redelijk onderscheid te geven tussen de verschillende lagen en objecten. Het verband tussen deze parameter en de Iw is niet altijd even sterk. Er blijken nogal wat uitschieters te zijn, die mogelijk het gevolg zijn van hetzij bodemvariabiliteit, hetzij bemonsteringsfouten of onnauwkeurigheden bij de dichtheidsbepaling. Bovendien moet opgemerkt worden dat het aantal herhalingen te laag was om betrouwbare conclusies te trekken. Wanneer we de gemeten waarden van de dichtheid bekijken valt het op dat de laagste dichtheden werden gevonden in de lagen waar het raster van de paraplow het profiel had doorsneden ( $1380 \text{ kg/m}^3$ ). De hoogste waarden werden gevonden in de door berijding sterk verdichte lagen C2 en B3.

#### *Poriëngetal en poriënfractie*

De overige genoemde parameters voor verdichting zijn afgeleid van de stoofdroge dichtheid. Ze zijn daardoor behept met dezelfde vreemde uitschieters (tabel 4: B2, B3, C2). Het poriëngetal van onze objecten (volume poriën per volume vaste delen) varieert van 0,62 tot 0,86. De waarden van object E (losgemaakt met schudfrees) verschillen nauwelijks van object A en B (heining en matig verdicht). De poriënfractie, die direct gerelateerd is aan het poriëngetal, vertoont eveneens deze afwijking. De grens van 40% die als norm geldt voor de mogelijkheid van beworteling, wordt niet of nauwelijks 'onder'schreden.

#### *Poriënindex*

De poriënindex in tabel 4 geeft een wat beter onderscheid, omdat de verschillen in organische stof hierin verdisconteerd zijn. Het valt echter op dat de waarden van de poriënindex vaak wat aan de hoge kant zijn. Op grond van de Iw-metingen werden voor de lagen  $>3 \text{ mPa}$  lage Ip-waarden verwacht. Dit viel echter wat tegen. Ook hier speelde ons waarschijnlijk de bodemvariabiliteit en het lage aantal herhalingen parten. In tabel 5 zijn de correlatiecoëfficiënten weergegeven van het verband tussen de 4 parameters uit tabel 4 enerzijds en de indringingsweerstand anderzijds. De correlatie pakt het gunstigst uit voor de poriënindex. De correlatie is in het voorseizoen sterker dan na een droge periode in mei. Dit laatste heeft te maken met het feit dat de Iw gevoelig is voor verandering in de drukhoogte van het bodemvocht. Als deze factor meer negatief (droger) wordt, wordt het verband zwakker.

**Tabel 4 De mate van bodemverdichting uitgedrukt met behulp van vier parameters**

**Pd** Stoofdroge dichtheid (kg/cm<sup>3</sup>)

**e** Poriëngetal (-)

**$\phi_p$**  Poriënfractie (%)

**Ip** Poriënindex (-)

Object	Laag	Mate van bodemverdichting							
		Begin groeiseizoen (22-3-1988)				tijdstip tweede snede (26-05-1988)			
		pd	e	$\phi_p$	Ip	pd	e	$\phi_p$	Ip
A	1	1454	0,78	44,7	1,12	1400	0,85	46,8	1,22
	2	1503	0,72	42,9	1,02	1487	0,74	43,5	1,05
	3	1490	0,73	43,4	1,05	1483	0,74	43,6	1,07
	4	1447	0,79	45,0	1,14	1500	0,73	43,0	1,05
B	1	1511	0,70	42,6	0,98	1573	0,63	40,2	0,89
	2	1455	0,75	44,7	1,02	1560	0,64	40,7	0,86
	3	1592	0,62	39,5	0,89	1503	0,72	42,9	1,03
	4	1508	0,70	42,7	0,95	1460	0,76	44,5	1,07
C	1	1519	0,69	42,2	0,96	1576	0,63	40,1	0,88
	2	1479	0,73	43,8	0,98	1580	0,61	39,9	0,83
	3	1564	0,64	40,5	0,87	1527	0,68	41,9	0,93
	4	1552	0,66	41,0	0,92	1460	0,76	44,5	1,07
D	1	1560	0,65	40,7	0,93	1563	0,65	40,6	0,92
	2	1388	0,86	47,2	1,21	1379	0,87	47,6	1,23
	3	1384	0,86	47,4	1,21	1389	0,85	47,2	1,20
	4	1448	0,77	44,9	1,06	1573	0,63	40,2	0,87
E	1	1508	0,70	42,7	0,98	1516	0,70	42,4	0,97
	2	1462	0,75	44,4	1,03	1524	0,68	42,1	0,93
	3	1531	0,68	41,8	0,97	1528	0,69	41,9	0,98
	4	1564	0,66	40,5	0,95	1509	0,72	42,6	1,04

A = weinig verdicht D = losgemaakte paraplow

B = matig verdicht E = losgemaakte schudfrees

C = sterk verdicht

**Tabel 5 Correlatiecoëfficiënten voor het verband tussen de indringingsweerstand enerzijds en de dichtheid Pd, het poriëngetal (e), de poriënfractie  $\phi_p$  en de poriënindex (Ip) anderzijds op twee verschillende bemonsteringsdata**

Monsterdatum	Verdichtingsparameter			
	Pd	e	$\phi_p$	Ip
22/3/88	0,67	-0,73	-0,67	-0,77
26/5/88	0,50	-0,53	-0,50	-0,57

### *Poriëndistributie*

Om te kunnen verifiëren welke gevolgen een matige of sterke verdichting heeft voor poriëndistributie en poriënstructuur, en of de poriëndiameter in overeenstemming is met de gevonden gemiddelde worteldiameter, zijn van de objecten A, B en C mammoetslijpplaten gemaakt van 0-35 cm min maaiveld. De slijpplaten zijn met de Quantimet doorgemeten (tabel 6).

Object A betreft een monsterplaats onder de heining die in het onderzoek van 1988 als nulobject heeft gefungeerd. Object B is de feitelijke uitgangssituatie zoals die op het bedrijf algemeen werd aangetroffen en object C tenslotte is een met de trilwals sterk verdichte plot.

Opmerkelijk is dat in alle drie objecten het gros van de poriën valt in de klasse 100 tot 300  $\mu\text{m}$ . Van het A-object (onder heining) valt 41% van de poriën in deze klasse, van het matig verdichte object B 45% en van het sterk verdichte object C 35%. Zeer vreemd is verder dat het sterkst verdichte object het beste is vertegenwoordigd in de klasse boven 1200  $\mu\text{m}$ . Dit is in strijd met de gangbare opvatting dat berijding vooral ten koste gaat van de grotere poriën.

**Tabel 6 Poriëndistributie in volume % van object A, B en C**

Object A diepte	Poriëngrootte in klassen (mm)						Totaal
	<0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1,2	1,2-2	>2-3	
0 - 7,5	0,6	1,8	1,0	1,9	1,3	2,7	9,3
7,5 - 15	1,3	3,0	0,7	0,5	0,2	-	5,7
15 - 25	2,1	5,8	1,8	1,1	0,1	0,7	11,6
25 - 35	2,1	7,6	3,4	1,7	1,6	1,0	17,4
Totaal	6,1	18,2	6,9	5,2	3,2	3,4	44,0

Object B diepte	Poriëngrootte in klassen (mm)						Totaal
	<0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1,2	1,2-2	>2-3	
0- 7,5	1,4	3,1	1,0	1,2	0,3	0,8	7,8
7,5- 15	1,8	4,9	0,9	1,3	0,7	-	9,6
15- 25	1,6	4,1	1,1	0,7	1,4	0,8	9,7
25- 35	2,1	5,7	2,0	1,4	0,9	-	12,1
Totaal	6,9	17,8	5,0	4,6	3,3	1,6	12,1

*Vervolg Tabel 6 Poriëndistributie in volume% van object A, B en C*

Object C diepte	Poriëngrootte in klassen (mm)						Totaal
	<0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-1,2	1,2-2	>2-3	
0 - 7,5	1,9	4,2	1,9	1,3	0,5	-	9,8
7,5 - 15	1,9	4,4	1,2	1,9	3,5	3,2	16,2
15 - 25	2,0	5,3	1,7	0,8	1,0	1,9	12,7
25 - 35	1,0	3,4	1,8	2,1	1,8	-	10,1
Totaal	6,8	17,3	6,6	6,1	6,8	5,1	48,8

## 2.2.4 Kwantificering beworteling

### *Verwerking*

De verwerking gebeurde in 3 fasen: spoelen, schonen en meten. Elk monster werd na ontdooiing gespoeld door een zeef met een maaswijdte van 0,3 mm. Met deze maaswijdte gaan nauwelijks wortels verloren (Schuurman en Goedewagen, 1971). Nadat de meeste gronddeeltjes zijn weggespoeld, wordt de rest door decanteren verwijderd. In tweede instantie werd de mix van wortelmassa met dood organisch materiaal nageschoond. Dit gebeurde in een doorzichtige perspex bak met lichte ondergrond waaruit met pincet het dode materiaal werd verwijderd.

De wortelmassa werd gesplitst in een grove en een fijne fractie. De fijne wortelfractie bestaat uit een bruine massa van zeer fijne (<200 µm) en zeer korte (<3 mm) zijworteltjes. In het gangbare onderzoek wordt dit residu weggegooid, omdat het relatief gezien zou zijn te verwaarlozen. Schuurman en Goedewagen (1971) vermelden dat bij voorzichtig spoelen doorgaans minder dan 4% van het totale wortelgewicht wordt weggegooid. Echter 4% van het totaalgewicht kan overeenkomen met een veel groter percentage aan wortellengte. Het is algemeen bekend dat juist de fijne wortels een groot aandeel leveren in de totale wortellengte.

### *Root Length Density (RLD)*

De wortellengte per eenheid van bodemvolume werd gekozen als maat voor de intensiteit van beworteling (tabel 7). In veel moderne studies wordt deze parameter genoemd als belangrijkste karakteristiek voor de bewortelingsintensiteit. De vroeger veel gebruikte parameter 'wortelmassa' (kg ds/ha) wordt steeds minder gebruikt, omdat deze parameter vaak slecht gecorreleerd is met de opname-activiteit van de wortels. De dimensie van RLD is cm/cm<sup>3</sup>.

In de voorproef is onderscheid gemaakt tussen grove en fijne wortels en de som van deze twee: RLDC, RLDF, RLDT (Coarse, Fine, Total) (tabel 7). De RLD werd bepaald met de Line-Intersect-methode volgens Newman (1966). Bij de Line-Intersect-methode worden de wortels uitgespreid in een bak van 30 x 40 cm voorzien van een lijnenraster (10 lijnen verticaal en 7 horizontaal, op een onderlinge afstand van 4 cm). De fijnheid van het raster moet zodanig worden gekozen dat er per monster een minimum van circa 300 kruisingen geteld worden. Het aantal kruisingen van wortels met de horizontale en

**Tabel 7 Wortellengte per eenheid bodemvolume (RLD)**

**RLDC** - Bewortelingsintensiteit van de hoofdwortels (cm/cm<sup>3</sup>)

**RLDF** - Bewortelingsintensiteit van de zijwortels (cm/cm<sup>3</sup>)

**RLDT** - Totale bewortelingsintensiteit (RLDC + RLDF) (cm/cm<sup>3</sup>)

Object	Laag	Wortellengte per eenheid bodemvolume (cm/cm <sup>3</sup> )					
		begin groeiseizoen (22/3/88)			tijdstip tweede snede (26/5/88)		
		RLDC	RLDF	RLDT	RLDC	RLDF	RLDT
A	1	11,3	36,7	48,0	16,4	35,0	51,4
	2	1,7	13,0	14,7	3,0	11,7	14,7
	3	1,0	8,0	9,0	1,7	6,8	8,5
	4	0,5	5,9	6,4	1,1	4,2	5,3
B	1	13,9	50,8	64,7	15,8	37,2	53,0
	2	2,3	9,7	12,0	3,8	12,9	16,9
	3	1,2	6,8	8,0	1,7	5,6	7,3
	4	0,6	3,5	4,1	1,2	6,7	7,9
C	1	18,6	60,3	78,9	15,0	37,2	53,0
	2	2,0	13,4	15,4	5,4	18,4	23,8
	3	0,8	10,0	10,8	1,2	10,1	11,3
	4	0,4	7,2	7,6	0,5	6,5	7,0
D	1	12,3	41,9	54,2	12,5	46,5	59,0
	2	3,3	15,1	18,4	5,0	21,4	26,4
	3	1,7	14,2	15,9	2,9	11,5	14,4
	4	0,9	9,9	10,8	3,9	12,0	15,9
E	1	9,3	44,3	53,6	13,3	39,3	52,6
	2	3,6	17,9	21,5	5,3	17,8	23,1
	3	1,3	9,2	10,5	3,4	11,2	14,6
	4	0,4	8,6	9,0	1,3	10,1	11,4

A = Weinig verdicht

D = Losgemaakt paraplow

B = Matig verdicht

E = Losgemaakt schudfrees

C = Sterk verdicht

verticale rasterlijnen is een maat voor de totale wortellengte in de bak. Met behulp van de volgende formule is de wortellengte van het monster te berekenen:

$$R = \frac{\pi \times N \times A}{2 \times H}$$

waarin R = wortellengte (cm);

N = aantal getelde kruisingen;

A = oppervlakte telbak (cm<sup>2</sup>);

H = totale lengte rasterlijnen (cm).

Hieruit kan worden afgeleid dat de wortellengte bij deze lijnafstand dan gelijk is aan  $\pi$  keer het aantal getelde intersecties (kruisingen).

De beworteling is voor het overgrote deel geconcentreerd in de bovenste twee lagen. Bij de bespreking van de homogeniteit van de beworteling wordt dit nog nader gekwantificeerd. Bij een toenemende verdichting (A, B, C) neemt de totale wortellengte in beide sneden sterk toe. Bij de hoofdwortels geldt dit alleen voor de bovenlaag. De zijwortels nemen bij toenemende verdichting toe in elke laag, ook in de meest verdichte laag! Dit is zonder meer verrassend.

In de literatuur wordt vrijwel altijd gesproken van een vermindering van de totale bewortelingsintensiteit bij verdichting. Als er al sprake is van een toename, dan zeker niet in de verdichte laag, maar uitsluitend vlak erboven. Dit laatste treedt hier ook wel op, maar dan in combinatie met een sterkere bewortelingsintensiteit in de verdichte laag. De spreiding in wortellengtemetingen blijkt verrassend laag te zijn.

In tabel 8 worden voor beide bemonsteringsdata de variatiecoëfficiënten vermeld uitgesplitst per laag en per object. Uit de cijfers blijkt dat de bovenste laag een VC heeft van ongeveer 15%. Voor de andere lagen schommelt deze maat tussen 30 en 40%. In de meeste literatuur worden VC-waarden van 40 - 50% als normaal aangemerkt met uitschieters tot boven 100% (Van Noordwijk e.a., 1985)

**Tabel 8** Variatiecoëfficiënten (%) van de metingen van de wortellengte per eenheid bodemvolume op twee bemonsteringsdata

Laag	Object					Gemiddelde
	A	B	C	D	E	
Opname 22-03-1988						
1	17,6	2,7	10,5	26,1	19,7	15,3
2	32,5	31,4	17,0	44,2	57,3	36,5
3	56,1	20,0	23,9	19,8	55,3	35,0
4	6,6	63,9	26,7	44,5	49,5	38,2
Opname 26-05-1988						
1	18,3	18,7	12,3	12,6	18,8	16,1
2	59,4	49,0	21,3	16,8	20,1	33,3
3	52,9	18,4	32,0	28,6	29,9	32,4
4	32,2	35,1	30,6	23,3	34,7	31,2

#### *Homogeniteit van beworteling*

In de literatuur wordt het toenemen van de oppervlakkigheid in de beworteling als een van de meest voorkomende gevolgen van bodemverdichting genoemd. Om te onderzoeken in welke mate dat ook in deze proefopzet het geval was, werd de verdeling van de wortels over de verschillende lagen gekwantificeerd met behulp van de homogeniteits-index. Deze is gebaseerd op de kwadratische verschillen tussen verwachte en werkelijke waarde van de relatieve frequentie van de vier lagen (tabel 9).

**Tabel 9** Homogeniteit van de beworteling over de vier bodemlagen van het bewortelbaar profiel, uitgedrukt aan de hand van een homogeniteitsindex (HI). Deze index loopt van de waarde 0 (= extreem oppervlakkige beworteling) tot de waarde 1 (= volmaakt homogene beworteling)

Object	Homogeniteitsindex					
	begin groeiseizoen (22/3/88)			tijdstip tweede snede (26/5/88)		
	hoofdw.	zijw.	totaal	hoofdw.	zijw.	totaal
A	0,55	0,85	0,80	0,63	0,81	0,79
B	0,55	0,67	0,63	0,68	0,82	0,79
C	0,38	0,76	0,70	0,67	0,79	0,77
D	0,71	0,91	0,89	0,91	0,91	0,91
E	0,74	0,87	0,85	0,84	0,92	0,91

A = Weinig verdicht      D = Losgemaakt paraplow  
 B = Matig verdicht      E = Losgemaakt schudfrees  
 C = Sterk verdicht

De volgende zaken vallen op:

- Zijwortels zijn homogener over het profiel verdeeld dan hoofdwortels.
- De homogeniteit van beworteling lijkt toe te nemen in het seizoen.
- De sterk geremde groei vroeg in het seizoen op C wordt later genivelleerd.
- De losgemaakte objecten (D en E) vertonen de meest homogene wortelontwikkeling.

#### Root Area Index (RAI)

Om op gewasniveau relaties te kunnen leggen tussen bewortelingsintensiteit en de opname van water en nutriënten, is het actief oppervlak van de wortels een betere graadmeter dan de wortellengte. De RAI geeft het totale worteloppervlak weer gerelateerd aan het grondoppervlak. Het gedeelte dat daarvan actief is, hangt af van de mate van verkurking, het deel van de wortels met wortelharen en de vertakkingsgraad. De RAI geeft een eerste indruk van de verschillen tussen de objecten onderling.

**Tabel 10** Root Area Index (RAI) van de vijf proefobjecten op twee bemonsteringsdata

Object	Root Area Index (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	
	begin groeiseizoen (22/3/88)	tijdstip tweede snede (26/5/88)
A	27,9	33,1
B	32,6	33,9
C	45,4	46,1
D	40,7	49,6
E	35,4	42,4

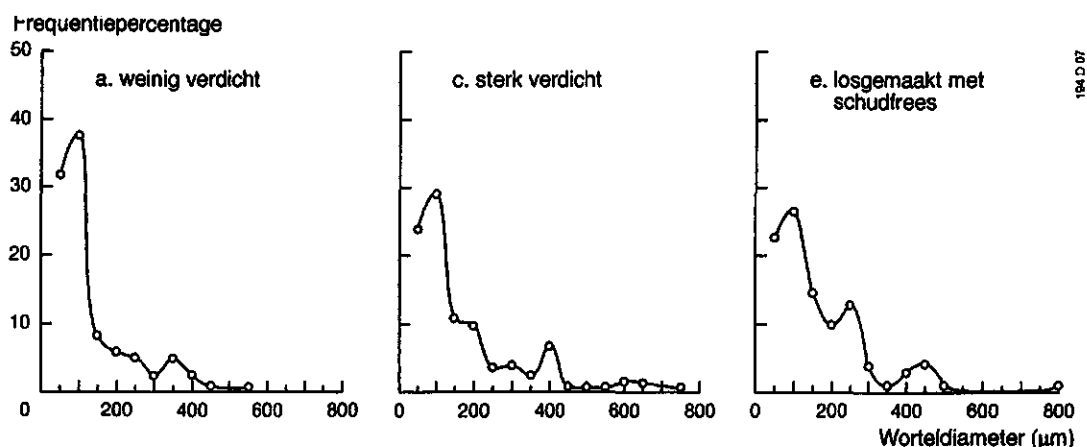
A = Weinig verdicht      D = Losgemaakt paraplow  
 B = Matig verdicht      E = Losgemaakt schudfrees  
 C = Sterk verdicht

In tabel 10 zijn de berekende waarden voor de 5 objecten weergegeven. De waarden in de tabel vallen ruimschoots binnen het door van Noordwijk en de Willigen (1987)

genoemde bereik van 20-100% voor de variatiecoëfficiënt (VC) voor de RAI van gras-sen.

#### *Frequentieverdeling worteldiameters*

In de literatuur wordt vaak vermeld dat wortels direct boven een sterk verdichte laag de neiging hebben zich sterk te verdikken. Om te onderzoeken of dit ook voor onze proef zou gelden, werd per object voor elke laag een frequentietabel van worteldiameters opgesteld. Van 3 objecten werden de frequentiepercentages uitgezet in een grafiek (fig. 7). Alle drie de verdelingen kenmerken zich door een tweetoppig verloop. Vooral de piek van de zijwortels manifesteert zich nadrukkelijk. Van een sterke verdikking van de hoofdwortels boven de sterk verdichte laag van object C is echter geen sprake.



**Fig. 7** Frequentieverdeling van worteldiameters van monsters van drie objecten

#### 2.2.5 Vergelijking onderhoudstechnieken

Aan het eind van 1988 zou onder andere uit het verschil in droge-stofopbrengst tussen de objecten paraplow en schudfrees hebben moeten blijken welke onderhoudsmethode het meeste perspectief bood om in de eigenlijke proefopzet in 1989 mee te nemen. In de voorproef is de werking van de paraplow vergeleken met de werking van de schudfrees. Veel boeren in Friesland zijn zeer te spreken over de werking van de paraplow. De paraplow maakt de grond aanzienlijk losser dan de schudfrees (extra waterberging op zware gronden), maar geeft ook meer zodebeschadiging en het maaiveld vertoont na de behandeling gelijkenis met een wasbord. De indringingsweerstand bleek na behandeling met de paraplow op het proefveld te zijn teruggelopen van 2,5 tot 0,5 mPa tegen 2,5 naar 1,5 mPa bij de schudfrees (figuur 7, curven D en E). De schudfrees daarentegen leverde aanzienlijk mooier werk (minder zodebeschadiging). Het apparaat is echter voorshands nog te kostbaar voor de praktijk en wordt praktisch alleen ingezet op sportvelden.



### 3 SPLITPLOTPROEF BODEMBEHANDELING GRASLAND

Om meer zekerheid te krijgen over de waarde die kan worden gehecht aan de uitspraken over gemeten wortellengten in 1988 en 1989 onder grasland in sterk verdichte situaties, werd in 1990 een uitgebreider onderzoek naar beworteling in relatie tot bodemdichtheid gestart om de nulhypothese: "Bodemverdichting remt de wortelontwikkeling (root length density) onder gras" te toetsen tegen de alternatieve hypothese: "Bodemverdichting is op pleistoceen zandgrasland niet van invloed op de root length density van gras".

De achtergronden om met een alternatieve hypothese te komen zijn gebaseerd op de volgende overwegingen:

- Graswortels hebben een veel fijnere habitus dan wortels van dicotylen en zullen om die reden minder gauw last hebben van verdichting.
- In de akkerbouw ziet men algemeen een slechtere stand van het gewas op kopakkers (plaatsen met de grootste bodemdichtheid) als gevolg van het herhaald berijden met zware machines. Dit kopakkereffect ontbreekt op grasland, hoewel ook daar met zware machines gekeerd moet worden.
- De opbrengsten zoals die gemeten zijn door het Proefstation voor Rundveehouderij zijn op het verdichte object gemiddeld zelfs beter dan op het onbehandelde object.

#### 3.1 Proefopzet en inrichting proefveld

Het definitieve proefveld voor bodembehandeling van grasland op zandgrond in verband met bodemverdichting is uitgevoerd op perceel 33 van het ROC Cranendonck in de jaren 1989-1992. Het proefveld is opgedeeld in 4 blokken (fig. 8). Elk blok bestaat uit 2 plots (uitsluitend maaien en gemengd gebruik) die zijn verloot over de blokken. De factor belasting (0,8 en 16 ton) is binnen de plots verloot over de subplots. De proefopzet betreft dus een splitplotproef in 4 herhalingen (blokken) waarbij gebruik verloot is over het plot en de belasting verloot is over het subplotstratum.

Elke plot bevat 3 subplots (de belastingtrappen A = niet verdicht, B = matig verdicht (8 ton) en C sterk verdicht (16 ton)). De subplots bij uitsluitend maaien zijn nog weer opgedeeld in 4 stikstoftrappen: 0 (N0), 200 (N1), 400 (N2) en 600 (N3) kg N per ha. Bij gemengd gebruik werd alleen 400 kg per ha toegediend (N2). Omdat het aanvanke-lijk in de bedoeling lag in de proefopzet ook het effect van het losmaken van verdichte percelen in het onderzoek te betrekken, zijn de behandelingen B en C per blok dubbel uitgevoerd. De uiteindelijke proefopzet bevatte zodoende per blok 5 subplots (1 x A en 2 x (B + C)). Het idee van het losmaken is later weer verlaten, omdat de noodzaak daarvan niet uit de droge-stofopbrengsten naar voren kwam. De behandelingen B en C zijn daardoor in acht-voud aangelegd.

Door het SC-DLO zijn op 3 a-selecte plekken binnen elke subplot dichtheids- en gras-wortelmonsters genomen. Alle grond- en wortelmonsters zijn uitsluitend afkomstig van veldjes met 400 kg N.

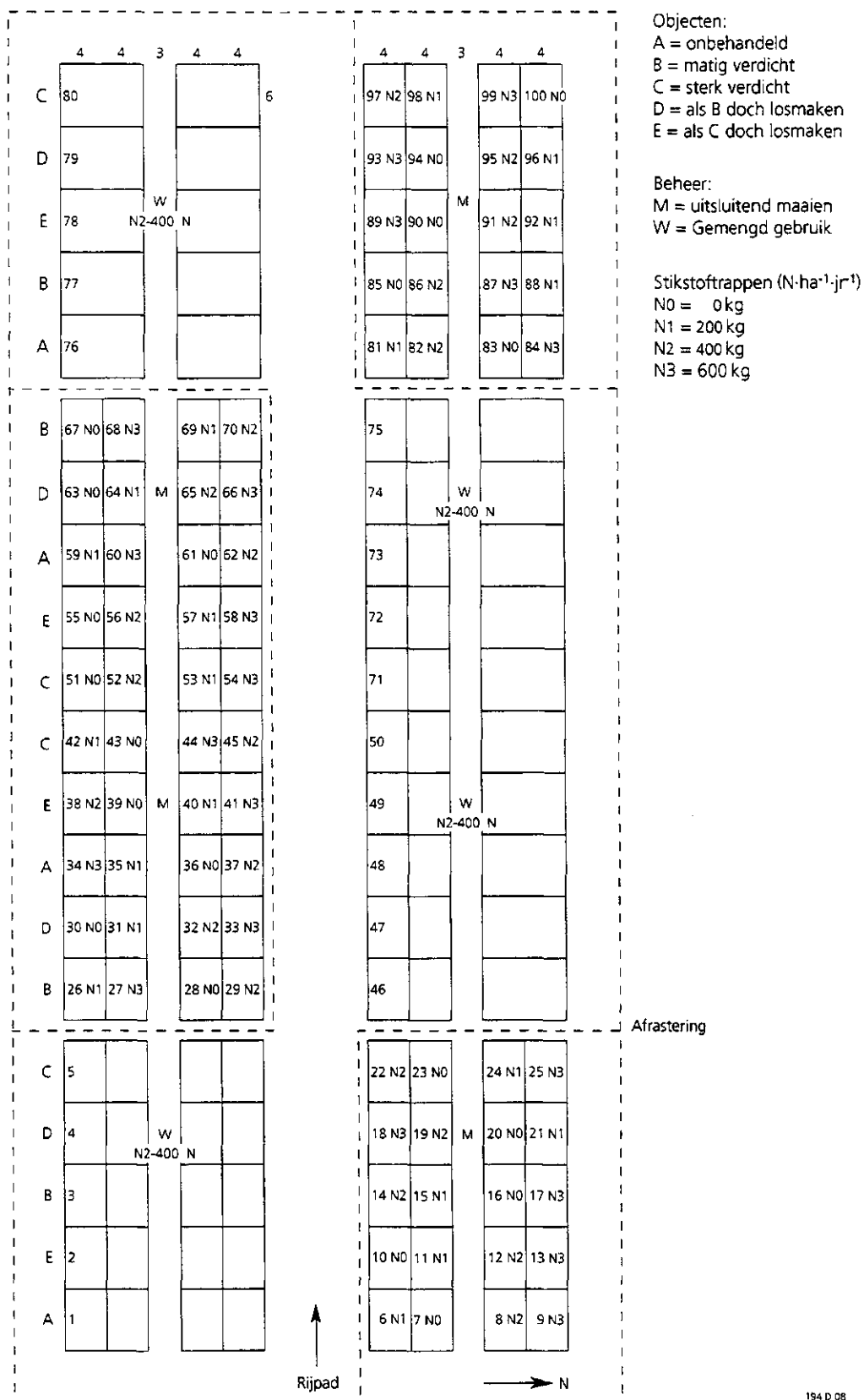


Fig. 8 Plattegrond van de splitplotproef

### 3.1.1 Bepaling tijdstip van belasting

Het bodemvochtgehalte beïnvloedt sterk de mogelijkheid tot verdichten. Het is daarom van belang het juiste moment vast te stellen voor de aanleg van een sterk te verdichten object. Door de afdeling grondbewerking van de LUW is daarom op ons verzoek een proctorproef uitgevoerd aan het bovengrond-materiaal van perceel 33 (fig. 9). Daaruit bleek dat bij een gewichtsvochtgehalte tussen 14 en 18% de grond van perceel 33 het meest gevoelig is voor verdichting. Dit komt bij een droog volumegewicht van 1600 kg per m<sup>3</sup> (zeer sterk verdicht) overeen met het traject tussen 22,5 en 28,8 volumeprocenten vocht. Met behulp van de pF-curve B2 voor een zandbovengrond uit de Staringreeks werd vastgesteld, dat een dergelijk vochtgehalte respectievelijk overeenkomt met een drukhoogte ongeveer tussen -185 en -85 cm (Wösten et al. 1987).

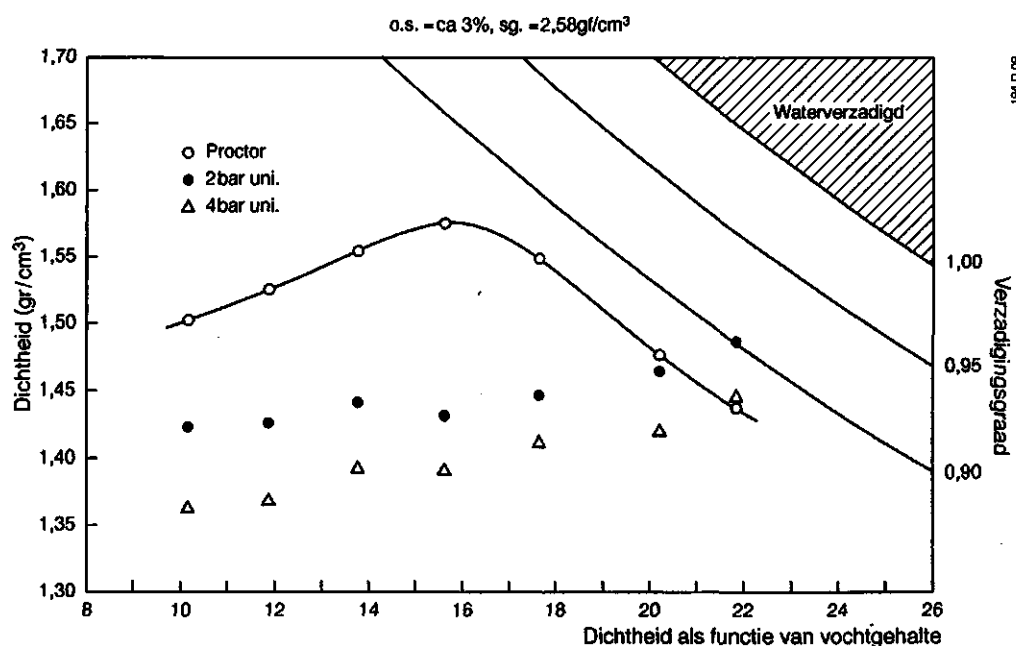


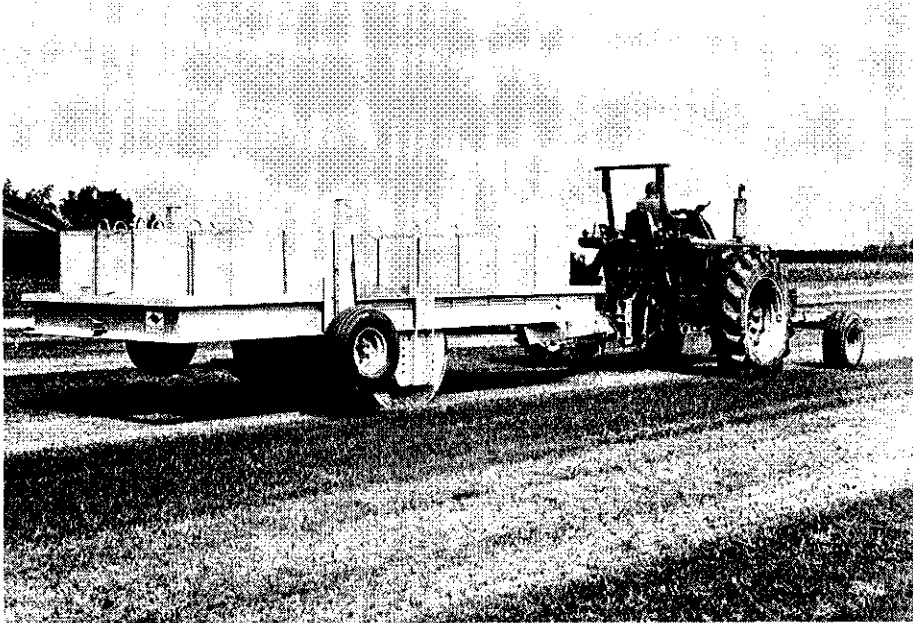
Fig. 9 De dichtheid van de proefveld-grond als functie van het vochtgehalte (Proctorproef Vakgroep Grondbewerking LUW)

Op perceel 33 zijn tensiometers geplaatst om met behulp van de gegevens over de drukhoogte van het bodemvocht in de zodelaag het juiste tijdstip voor verdichting beter te kunnen benaderen. De tensiometerwaarden zijn op andere tijdstippen gebruikt om na te gaan of de dichtheid invloed heeft op de drukhoogte. De verwachting was, dat verschil in dichtheid van grond zou leiden tot verschil in intensiteit en diepte van worteling en daarmee tot verschil in vochtigheid van de grond. Dit laatste zou dan tot uiting moeten komen in verschillen in drukhoogte.

### 3.1.2 Verdichten met belastingframe

Het proefperceel is in het voorjaar van 1988 op normale praktijkwijze ingezaaid met een BG3 mengsel. Op 5 en 6 oktober 1988 is hierop door een equipe van het IMAG

met een speciaal voor verdichting geconstrueerde rol, ook wel belastingframe genoemd (fig. 10), een verdichtingsproef in 3 trappen aangelegd. Omdat het proefperceel in het voorjaar van 1988 was ingezaaid en de zode dus nog jong was, konden de verschillende trappen niet in één gang worden aangebracht, maar zijn deze geleidelijk opgebouwd. De lichtste belastingtrap (A) is na herinzaai niet behandeld met de rol van het IMAG. De verdichting op dit object is een gevolg van spontane natuurlijke bezakking en berijding met de Halldrup proefoogstmachine bij elke snede. De ontstane verdichting is waarschijnlijk nog het beste vergelijkbaar met de verdichting na een behandeling met de onbelaste IMAG-rol (4.5 ton).



*Fig. 10 Trekker met getrokken en volledig belast frame. Let op de gladde stalen rol midden onder het frame waardoor de verdichting wordt bewerkstelligd*

Door het belasten van het frame met betonblokken (een betonblok = 500 kilo) kan stapsgewijs op een halve ton nauwkeurig elke gewenste last tussen 4.5 en 16.5 ton worden aangebracht. Belastingtrap B is op die wijze verdicht met 8.5 ton en belastingtrap C met 16.5 ton.

#### *Zakking*

Met behulp van laserapparatuur is tijdens het aanbrengen van de verdichtingen de zakking van het maaiveld nagegaan. Gemeten over 30 meetpunten bleek, nadat was voorgerold met de lege rol, bij eerste passage met 8.5 ton het maaiveld ten opzichte van de uitgangssituatie met gemiddeld 2 cm te zijn gezakt. Bij narollen met 16.5 ton werd nog een extra zakking van 1,2 cm gemeten. Zou echter de belasting geleidelijk aan met telkens 2 ton zijn opgehoogd, zodat pas na 7 passages een belasting van 16.5 ton zou zijn bereikt, dan zou, zo bleek uit een begeleidend proefje, de totale zakking op 5.2 cm zijn uitgekomen. Dus 5 keer extra rijden met een geleidelijk zwaardere belasting tot 16.5 ton zou hebben geleid tot een extra maaiveldsdaling van nog eens 2 cm.

Op 18 oktober 1989, na de tweede behandeling met het belastingframe werd over 32 ijkpunten, bij een belasting met 8.5 ton en 16.5 ton op de betreffende objecten een maaiveld daling vastgesteld van gemiddeld 7 mm respectievelijk 9 mm. Omdat bij aanleg niet met een vast meetpunt is gewerkt, is niet duidelijk of hier sprake is van een absolute zakking ten opzichte van de eerste meting in 1988.

### 3.1.3 Bepaling van vereiste bemonsteringsdiepte

Om de invloed van het belastingframe op de dichtheid in de diepte te kunnen nagaan, is in 1988 eerst een pilotstudie uitgevoerd op de blokken 2 en 3 van het weidedeel. Daarvoor zijn met een grote stalen mantelboor in 8-voud over een diepte van 70 cm in elk van de drie objecten 7 grondmonsters genomen. Dit resulteerde in  $3 \times 8 \times 7 = 168$  grondmonsters. Vergelijking van het A-object met het C-object gaf in 1988 geen significante verschillen te zien in dichtheid beneden 40 cm - mv. Daarom is de ondergrens voor latere grondbemonsteringen gelegd op 40 cm. In 1989 is de bemonstering op dezelfde wijze herhaald, echter met het verschil dat toen 9 herhalingen zijn genomen over 5 diepten. Dit resulteerde in  $3 \times 9 \times 5 = 135$  grondmonsters. De volgende gemiddelde dichtheden ( $\text{kg/m}^3$ ) werden daarbij gevonden:

**Tabel 11** Droge dichtheden in  $\text{kg/m}^3$  met standaardafwijking (sa) bepaald in 1988 en 1989 (n=8 resp.9)

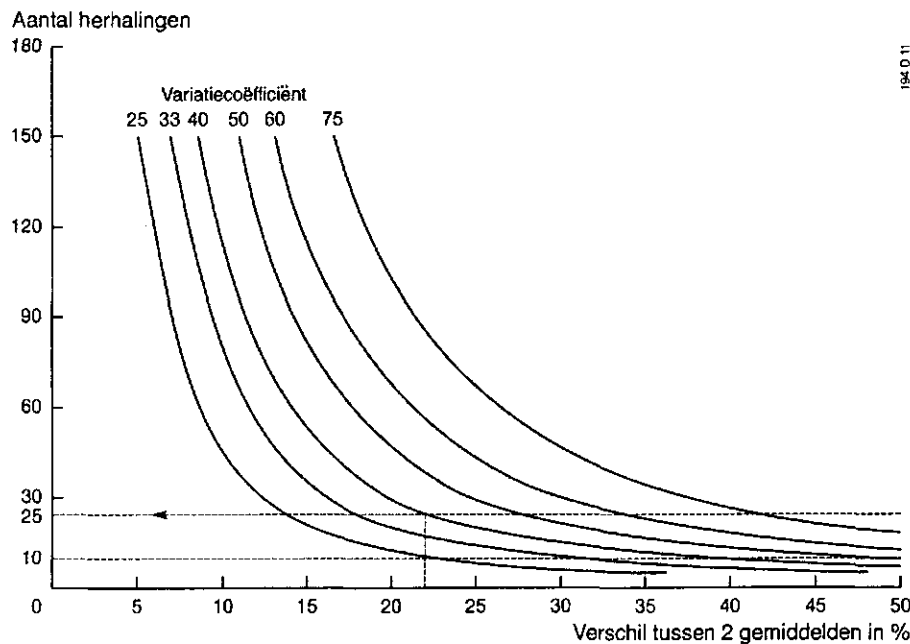
Diepte in cm	1988 object A	1989	1988 object B	1989	1988 object C	1989
5-13	1340 (51)	1390 (64)	1446 (43)	1415	1398 (44)	1470 (71)
13-21	1244 (162)	1340 (50)	1401 (43)	1393	1454 (48)	1450 (105)
22-30	1343 (73)	1440 (46)	1484 (115)	1419	1468 (57)	1490 (89)
32-40	1404 (109)	1430 (65)	1545 (79)	1463	1504 (66)	1520 (58)
42-50	1528 (109)	1450 (95)	1646 (43)		1538 (64)	1610 (113)
52-60	1672 (57)	1680 (66)	1688 (103)	1720	1619 (183)	1720 (46)
62-70	1688 (36)		1681 (199)		1682 (144)	

Opmerkelijk is dat in 1988 op object C (16.5 ton) pas vanaf de tweede laag (13-21 cm) van een relevante toename in dichtheid sprake is. In de overige lagen binnen 60 cm is het steeds object B (8.5 ton) dat de grootste dichtheid heeft. In 1989 is zowel op object A als C sprake van een toename in dichtheid ten opzichte van 1988. Dit in tegenstelling tot object B, dat over de hele linie lager scoort dan in 1988. Duidelijk is dat object A zich in de loop van 1989 nog verder heeft verdicht. Hetzelfde geldt ook voor de bovenlaag van object C. Object B wijkt totaal af van de beide andere objecten. Een mogelijke verklaring hiervoor is de bodemvariabiliteit tussen de herhalingen onderling.

### 3.1.4 Bemonstering van graswortels en bodemdichtheid

Uit onderzoek van Noordwijk et al (1985) komt naar voren dat de variatiecoëfficiënt in wortelgewichten van graswortelmonsters tamelijk constant is, zo rond de 40%. Uit

figuur 11, ontleend aan dit artikel, blijkt dat bij een dergelijke variabiliteit ongeveer 25 herhalingen nodig zijn om verschillen tussen twee gemiddelden in de grootte van 22% te kunnen onderscheiden.



**Fig. 11** Minimum aantal herhalingen (in relatie tot de variatie-coëfficiënt) benodigd om een verschil tussen twee gemiddelden te kunnen onderscheiden met behulp van de t-toets ( $\alpha = 0,05$ ) (Noordwijk et al., 1985)

In 1989 is het bewortelingsonderzoek beperkt gebleven tot enerzijds een steekproefsgewijs onderzoek naar de bewortelingsdiepte van gras op 3 tijdstippen en anderzijds een beperkt onderzoek naar de wortellengte per eenheid van bodemvolume. Bovendien is in 1989 door het SC-DLO 2 keer een onderzoek uitgevoerd naar de spuitdichtheid, waarvan één keer op 12 juli (in combinatie met het meten van indringingsweerstand) en de tweede keer op 28 juli. In 1990 zijn 3 sneden (de 1ste, de 2de en de 5de snede) elk in 24-voud bemonsterd. De data (zowel van grond als wortels) die betrekking hebben op deze 3 sneden zijn ondergebracht in respectievelijk bijlage 1, 2 en 3.

Omdat gezocht werd naar een eventueel verband tussen wortelontwikkeling van gras en de bodemdichtheid als gevolg van belasting zijn de graswortel- en de grondmonsters paarsgewijs genomen. Om storende factoren als gevolg van bodemvariabiliteit zo veel mogelijk uit te sluiten, werden beide monsters direct na elkaar genomen op een onderlinge afstand van slechts 5 cm. Het eerste monster werd bestemd voor dichtheidsbepalingen en het tweede voor wortelanalyse. De monsters zijn genomen met een wortelboor met een lengte van 40 cm en een inwendige diameter van 35,7 mm. De effectieve bewortelingsdiepte bleek in de praktijk niet 40 maar 36 cm te zijn. De feitelijke bemonsterde lagen waren dan ook 9 cm dik. De inhoud van elk monster dus  $3,14 \times (1,785 \times 1,785) \times 9 = 90 \text{ cm}^3$ . Een verdeling van het monster in 4 gelijke stukken van 10 cm bleek niet mogelijk, omdat de grasstoppel ook enig volume opeist.

Wortelboringen dieper dan 40 cm hadden in ons geval niet veel nut, omdat op die diepte weinig wortels meer voorkomen als gevolg van de overgang van humeus naar humusarm materiaal op die diepte.

### 3.1.5 Laboratoriumwerkzaamheden aan grond- en graswortelmonsters

De graswortelmonsters werden eerst ingevroren om ze in goede conditie te houden voor nader onderzoek. Dit is noodzakelijk, omdat het hele onderzoek een zeer tijdrovende zaak is. Per snede zijn 4 blokken x 2 plots x 3 subplots x 3 herhalingen x 4 lagen = 288 graswortelmonsters en 288 grondmonsters genomen en geanalyseerd. Van de grondmonsters is op de normale wijze het organische-stofgehalte en de dichtheid bepaald en later de poriënindex met behulp van een door Van de Sluys (1988) ontwikkelde formule.

De graswortels werden voor verwerking eerst ontdooid. Daarna werd de grond tussen de wortels verwijderd door achtereenvolgens te spoelen boven twee draadzeven van respectievelijk 2,0 en 0,425 mm. De hoeveelheid wortels die nog door de fijnste zeef gaat is verwaarloosbaar. Op de fijnste zeef blijven naast graswortels ook veel dood organisch materiaal en zandkorrels achter. Het zand is vrij eenvoudig door decanteren te verwijderen. Het dode organische materiaal met de graswortels werd daarna in een platte glazen bak met water gedaan van 30 x 40 cm, waarna met een pincet het dode materiaal tussen de graswortels kan worden uitgelezen. Dit laatste vergt veel tijd, vooral als de wortels en het dode materiaal sterk verweven zijn. Dit geldt met name voor monsters uit de bovenlaag. Per monster werd maximaal één kwartier besteed aan dit scheidingsproces. Om toch een idee te hebben hoeveel restwortel na één kwartier lezen nog met het 'badwater' werd weggegooid, is bij de eerste snede het badwater met wortelresten van één op de drie monsters (96 stuks) aan een nadere analyse onderworpen. Hiervoor is de Line-Intersectmethode van Newman gebruikt.

#### *Meting vocht karakteristiek*

In 1989 zijn in drievoud pF-curven bepaald van de lagen 5-12, 28-35 en 53-60 cm beneden maaiveld van object B en C. Het A-object is niet aan een onderzoek onderworpen, omdat de capaciteit op het laboratorium op dat ogenblik niet toereikend was en er bovendien van gewone veldpodzolgronden voldoende pF-gegevens beschikbaar zijn. Doel van het onderzoek was na te gaan in hoeverre verdichting de vocht karakteristiek van de grond beïnvloedt en eventueel van invloed is op het vochtleverend vermogen van de grond.

### 3.1.6 Metingen aan graswortels met de Quantimet

Het uitspoelen van wortelmonsters van gras met de hand vraagt veel tijd. Bij ons onderzoek werd per monster gemiddeld 30 min. besteed aan het schoningsproces en het tellen van de wortels. Een probleem bij dit onderzoek is hoe dood materiaal van levend materiaal te onderscheiden. Na invriezen is uiteraard alle materiaal dood, maar

er valt wel onderscheid te maken in materiaal wat levend en wat al geruime tijd dood was op het moment van invriezen.

De lengte van wortels kan men op verschillende manieren vaststellen. Wij gebruikten zowel de Line-Intersect-methode van Newman (Newman, 1966) als een elektronische beeldanalyser: de Quantimet 970. Voor de Line-Intersect-methode zie 2.2.5.

Bij de elektronische wortelanalyse kan behalve de lengte ook de worteldiameter en eventueel de vertakkingsgraad worden bepaald (Heringa et al, 1980). De Quantimet is gecalibreerd in mm per pixel. Eén pixel meet 0,079 mm. De Quantimet selecteert met de detector alleen die pixels die voldoende contrasteren met de ondergrond. Van iedere afzonderlijke wortel worden naast de x- en y-coördinaten, ook het oppervlak en de omtrek gemeten. Uit oppervlakte en omtrek worden vervolgens de lengte en diameter berekend met de formules:

$$\begin{aligned} \text{lengte} &= 1/4(\text{omtrek}) + V(\text{omtrek} \times \text{omtrek} - 16 \times \text{oppervlakte}); \\ \text{breedte} &= 1/4(\text{omtrek}) - V(\text{omtrek} \times \text{omtrek} - 16 \times \text{oppervlakte}). \end{aligned}$$

Een probleem bij de metingen met de Quantimet is dat de jongere, meest fijnere graswortels ( $< 200 \mu\text{m}$ ) onvoldoende contrast vertonen met de ondergrond en dus niet of onvoldoende worden meegenomen in de meting. Om hiervoor te kunnen corrigeren is op een beperkt aantal monsters beide methoden toegepast. Eerst werd de wortellengte bepaald volgens de Intersect-methode. Daarna werden deze monsters gefotocopieerd en aan de Quantimet aangeboden (fig. 12). Om een goed beeld via de Quantimet te krijgen, is het zaak dat de wortels goed geschoond en goed gespreid liggen.

### 3.1.7 Analyse wortel-grondcontact met behulp van slijpplaten

De mate waarin wortels contact maken met de grond is zowel uit oogpunt van wortel-aeratie als vocht- en nutriëntenopname van belang. De kans dat wortels in natte perioden over voldoende zuurstof zullen kunnen beschikken om te overleven, neemt af bij een hogere graad van wortel-grondcontact (De Willigen en Van Noordwijk, 1984). De effectiviteit waarmee nutriënten en water kunnen worden opgenomen, neemt echter toe bij een hogere graad van wortel-grondcontact (De Willigen en Van Noordwijk, 1987; Veen et al, 1992). De mate van wortel-grondcontact kan worden bepaald aan dunne slijpplaten van gevriesdroogde grond.

De 6 slijpplaten, gemaakt van de drie objecten in de splitplotproef, zijn genomen onder zowel maai- als gemengd regiem en alle afkomstig uit de 2de laag en genomen op dezelfde diepte (17 cm). De slijpplaten zijn horizontaal georiënteerd en geanalyseerd met gepolariseerd en fluorescerend licht. Het geanalyseerde oppervlak is per gezichtsveld ( $R=1$ ):  $3,14 \times 1 \times 70\text{mm} \times (2 \times 14)\text{banen} = 6157 \text{ mm}^2$ , dat is ongeveer 60% van de slijpplaat. Er worden drie klassen onderscheiden: geen wortel-grondcontact, variabel wortel-grondcontact en 100% contact.





**Fig. 12** *Fotocopie van een geprepareerd graswortelmonster ten behoeve van wortellengtemeting met de Quantimet*

### 3.2 Resultaten splitplotproef

#### 3.2.1 Preferente stroming

Bij de vijfde snede is en passant gekeken of ook op grasland mogelijk sprake is van preferente stroming. Hiermee wordt de bodemeigenschap bedoeld waarbij herbevochtiging van gronden niet gelijkmatig over een breed front plaatsvindt, maar volgens een

zeer onregelmatig patroon, waarbij het zakkende water bepaalde zogenaamde preferente banen volgt. Deze onregelmatige bevochtiging komt vooral onder bos en heide, maar ook onder gras en in mindere mate onder bouwland voor (Dekker, 1988). Uit de cijferreeksen blijkt dat van een homogene verdeling van het bodemvocht vooral in de bovenste laag geen sprake is.

In een en dezelfde grondkolom kunnen boven elkaar droge en vochtiger zones elkaar afwisselen. De variaties in vochtgehalte zijn weliswaar niet zo extreem als onder bos of hei, maar verschillen in de bovenlaag tot een factor 3 à 4 in vochtfractie komen veelvuldig voor. In de tweede laag zijn de verschillen kleiner en teruggelopen tot een factor 1,5 à 2. In de derde en vierde laag zijn de variaties nog verder afgezwakt en blijven gemiddeld < 1,5, hoewel incidenteel ook op die diepte nog verschillen in vochtfracties voorkomen die in de orde van 5 à 7 kunnen liggen. Een dergelijke mate van heterogeniteit in vochtverdeling op korte afstand van elkaar en op vergelijkbare diepte wijst volgens Dekker op het voorkomen van preferente stroming. Grondbewerking verstoort het voorkomen van preferente banen en dringt in het algemeen de waterafstotendheid terug. Het proefperceel was twee jaar vóór en bij de aanleg nog eens geploegd en opnieuw ingezaaid. Daardoor is het fenomeen van preferente stroming op het proefveld van de Cranendonck waarschijnlijk afgezwakt en mogelijk minder extreem dan gewoonlijk onder oud grasland en is het beter vergelijkbaar met dat van een zandbouwland.

### 3.2.2 Overzicht Ip-waarden

In tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de gemiddeld gemeten bodemdichtheden uitgedrukt als poriënindex (Ip) in de proefjaren 1988 t/m 1992.

*Tabel 12 Gemiddelde Ip-waarden 1988 t/m 1992 per laag en per object*

	1988	1989	21/3/90	15/5/90	15/10/90	gem.1990	1992
A1	1,14	0,96	0,97	0,99	1,04	1	1,02
A2	1,27	1,04	0,90	0,87	0,83	0,87	0,99
A3	1,12	0,94	0,95	0,90	1,0	0,95	0,92
A4	1,00	1,02	0,87	0,86	0,89	0,87	0,90
B1	0,95	0,90	0,95	1,07	0,98	1,0	0,99
B2	0,93	0,95	0,81	0,78	0,78	0,79	0,90
B3	0,88	0,95	0,85	0,85	0,92	0,87	0,85
B4	0,87	0,94	0,80	0,84	0,84	0,83	0,77
C1	0,94	0,86	0,91	1,05	0,97	0,98	0,90
C2	0,89	0,91	0,72	0,70	0,73	0,72	0,80
C3	0,89	0,84	0,75	0,73	0,81	0,76	0,74
C4	0,87	0,86	0,74	0,76	0,76	0,75	0,70

Wat opvalt in tabel 12 is dat in geen van de toplagen, ook niet bij aanwending van 16 ton aslast, sprake is van een serieuze toename in dichtheid. Dit is een gevolg van de veerkracht van de zode. Verder zijn de gemiddelde dichtheden van de objecten B en

C als gevolg van extra rolbehandelingen in 1991 en '92 ten opzichte van 1990 nog weer toegenomen.

### 3.2.3 Bewortelingscijfers 1989

De worteldiepte, zoals die in 1989 is bepaald, heeft alleen betrekking op duidelijk met het blote oog zichtbare witte wortels. De gemiddelde bewortelingsdiepte (in cm - maaiveld met bijbehorende standaardafwijking) van met het blote oog duidelijk zichtbare grove graswortels (doorsnee > 0,20 mm) en vastgesteld op drie data in 1989 is weergegeven in tabel 13.

*Tabel 13 Wortelontwikkeling per object op 3 verschillende tijdstippen*

Datum	Object A (n=12)	Object B (n=22)	Object C (n=21)
11-5	47 cm sa = 5,4	41 cm sa = 14	27 cm sa = 3,5
25-5	42 cm sa = 11	47 cm sa = 8	33 cm sa = 8
11-6	50 cm sa = 11	46 cm sa = 4	35 cm sa = 12

Er blijkt sprake van een zeer duidelijk effect van belasting op de diepte van de wortelontwikkeling in object C. Voor object B is dit minder uitgesproken. Dit is in overeenstemming met de gangbare mening dat bij toenemende belasting de wortelontwikkeling sterker wordt geremd. Er wordt echter hier nu al op gewezen dat het effect alleen betrekking heeft op de grovere graswortels en niet a priori ook hoeft te gelden voor de fijnere graswortels die een diameter < 200 µm hebben.

Er is, zo lijkt het, bij object C sterker dan bij object B sprake van een aanvankelijk geremde wortelontwikkeling, mogelijk mede veroorzaakt door beschadiging van de spruiten als gevolg van de zware belasting.

### *Wortellengten in 1989*

De wortellengten zijn bij de tweede snede (tabel 14) bepaald volgens de Intersect-methode (n=8) en gecorrigeerd voor spoelverliezen. Ze hebben betrekking op de laag 5-15, 15-25, 25-35 en 35-45 cm. De zodelaag is uit oogpunt van werkbeparing niet meegenomen. De wortellengten zijn uitgedrukt in cm per cm<sup>3</sup> grond. Bij de 5de snede in 1989 zijn de wortellengten bepaald met behulp van de Quantimet (tabel 15).

*Tabel 14 Wortellengten in cm per cm<sup>3</sup> grond (Intersect-methode) 1989 snede 2*

Laag object	5-15 maai/gemengd	15-25 maai/gemengd	25-35 maai/gemengd	35-45 maai/gemengd
A 0 ton	---/---	9,8/7,8	11,2/6,1	2,9/6,3
B 8 ton	---/---	9,6/8,1	7,6/4,4	3,2/6,6
C 16 ton	---/---	11,7/7,4	8,0/7,9	6,4/6,9

**Tabel 15 Wortellengten in cm per cm<sup>3</sup> grond (vlg. Quantimet) 1989 snede 5**

Laag object	5-15 maai/gemengd	15-25 maai/gemengd	25-35 maai/gemengd	35-45 maai/gemengd
A 0 ton	7,3/5,6	7,7/4,3	2,0/4,4	2,1/6,7
B 8 ton	6,9/5,8	5,5/3,2	2,0/4,1	2,3/6,6
C 16 ton	6,7/4,9	5,1/5,0	3,9/4,2	3,0/2,1

Opvallend is het grote verschil in wortellengte in laag 3 van object A tussen beide sneden. In object C doet zich iets soortgelijks voor in laag 2. Hier is de wortellengte ten opzichte van de tweede snede gehalveerd. Over het algemeen zijn de gemiddelde wortellengten in het najaar lager dan in het voorjaar. Berekend over de lagen 2, 3 en 4 werd voor alle drie de objecten onder maaien bij de vijfde snede gemiddeld nog maar 50% aangetroffen van de wortellengte die bij de tweede snede aanwezig was. Ditzelfde geldt ook voor object C onder gemengd gebruik. De objecten A en B onder gemengd gebruik vertonen minder slijtage. Hier werd respectievelijk 76 en 73% wortellengte teruggevonden ten opzichte van de eerste snede. Deze cijfers zijn min of meer in lijn met de bevindingen van Williams (1968), die constateerde dat in de late herfst nog slechts 13% aanwezig is van de wortels die in de lente werden aangetroffen.

In 1989 is evenals in 1988 gekeken naar de spruitdichtheid in relatie tot bodemverdichting. In 1988 vonden we bij toenemende dichtheid een positieve correlatie met de spruitdichtheid. In 1989 is dit verband alleen bij de 1e opname aanwezig (tabel 16).

**Tabel 16 Gemiddeld aantal spruiten versus Iw gemeten op 12 en 28 juli 1989**

Object	Iw	sd	spruit/dm <sup>2</sup> d.d. 12	spruit/dm <sup>2</sup> d.d. 28	(n=10)
A	15,4	+/- 2,6	59	72	
B	25,2	+/- 7,0	85	64	
C	27,7	+/- 7,5	86	54	

Bij object A valt een lage indringingsweerstand op in combinatie met een laag aantal spruiten op de twaalfde, waar dit op de 28ste lijkt te zijn vereffend. Object B en C hebben een nagenoeg gelijke Iw en ook een gelijk aantal spruiten. De scherpe terugval in het aantal spruiten bij de objecten B en C in een tijdsbestek van twee weken zou een reactie kunnen zijn van het gewas op de voorafgaande zware snede.

### 3.2.4 Wortel-grondcontact (wgc)

In onderstaande tabel 17 zijn de resultaten weergegeven van een onderzoek naar de mate van wortel-grondcontact tussen de verschillende objecten. De wortels blijken overwegend geotroop gericht. Dat blijkt uit de vrij ronde worteldoorsneden in de slijpplaten. Er blijken echter ook een aantal wortelcoupes met een meer ovale of langgerekte vorm (lange) voor te komen. Dit is een bewijs dat deze wortels min of meer horizontaal groeien. Een dergelijke groeiwijze zou een aanwijzing vormen voor sterke verdichting.

**Tabel 17 Aantal wortels geteld in horizontaal genomen slijpplaat onderverdeeld in 3 klassen van wortel-grondcontact. Diepte 17 cm - mv**

	Klasse µm	Geen	Variabel	100 %	Tot. wortelperfor.
Obj	<50	0	0	0	0
0 ton	50-100	0	11	17	28 (20,7%)
maai	100-150	11	19	32	62 (45,9%)
	150-200	6	0	22	28 (20,7%)
	>200	0	0	17	17 (12,6%)
<b>Totaal</b>		<b>17 (12,6%)</b>	<b>30 (22%)</b>	<b>88 (65%)</b>	<b>135 incl. 32 lange = 24%</b>
Obj	<50	0	7	7	14 (11,6%)
0 ton	50-100	7	14	14	35 (29,0%)
wei	100-150	7	4	14	25 (20,6%)
	150-200	4	0	14	18 (15,0%)
	>200	11	4	14	29 (24,0%)
<b>Totaal</b>		<b>29 (24%)</b>	<b>29 (24%)</b>	<b>63 (52%)</b>	<b>121 incl. 50 lange = 41%</b>
Obj	<50	10	4	0	14 (13,0%)
8 ton	50-100	16	8	4	28 (26,0%)
maai	100-150	10	10	8	28 (26,0%)
	150-200	6	2	2	10 ( 9,0%)
	>200	14	8	6	28 (26,0%)
<b>Totaal</b>		<b>56 (51,8%)</b>	<b>32 (29,6%)</b>	<b>20 (18,5%)</b>	<b>108 incl. 26 lange = 24%</b>
Obj	<50	0	0	0	0
8 ton	50-100	10	1	0	11 (20,4%)
wei	100-150	18	5	0	23 (42,6%)
	150-200	6	0	0	12 (22,2%)
	>200	8	10	2	20 (37,0%)
<b>Totaal</b>		<b>36 (66,6%)</b>	<b>16 (29,6%)</b>	<b>2 (3,7%)</b>	<b>54 incl. 8 lange = 15%</b>
Obj	<50	0	0	1	1 ( 4,2%)
16 ton	50-100	5	2	2	9 (37,5%)
maai	100-150	0	4	2	6 (25,0%)
	150-200	0	2	0	2 ( 8,3%)
	>200	4	2	0	6 (25,0%)
<b>Totaal</b>		<b>9 (37,5%)</b>	<b>10 (41,6%)</b>	<b>5 (20,8%)</b>	<b>24 incl. 4 lange = 17%</b>
Obj	<50	0	2	0	2 ( 3,9%)
16 ton	50-100	8	0	10	18 (35,3%)
wei	100-150	0	0	2	2 ( 3,9%)
	150-200	9	3	5	17 (33,3%)
	>200	1	1	10	12 (23,5%)
<b>Totaal</b>		<b>18 (35,3%)</b>	<b>6 (11,8%)</b>	<b>27 (52,9%)</b>	<b>51 incl. 5 lange = 10%</b>

Er blijken in absolute aantallen 60-80% minder wortels voor te komen in de slijpplaten van het 16-tons object vergeleken met die van het 0-object. Het matig vaste maaioobject neigt met 108 getelde wortels meer naar het losse object, terwijl de weidevariant van het 8 tons-object met 54 getelde wortels goed aansluit bij de weidevarianten van 16 ton. De maaivariant van 16 ton scoort uitermate laag met slechts 24 getelde wortels.

Dit wijst er dus op dat sterke verdichting wel degelijk ook remmend werkt op de ontwikkeling van graswortels. Echter de grootste aantallen 'lange' wortels die dus overwegend horizontaal groeien (wat een aanwijzing zou vormen voor sterke verdichting), worden juist aangetroffen in de beide varianten van het losse object (65% en 52% respectievelijk voor maa- en weideobject), terwijl in beide matige objecten waar een groter aantal 'lange' wortels voor de hand ligt, slechts 4-18% van de wortels 'lang' is, dat wil zeggen met 100% wgc. Met andere woorden: er is geen sprake van een consistente trend. Een ander opmerkelijk feit is dat in de objecten 8 en 16 ton tussen de 24 en 37% van de wortels tot de klasse  $> 200 \mu\text{m}$  behoren, terwijl bij het 0-object (maaien) slechts 12% in dezelfde klasse valt. Dit laatste duidt weer wel op een sterke verdichting van het B- en C-object ten opzichte van het A-object. Van Noordwijk (1982) stelt dat wanneer alle coupes in een horizontaal georiënteerde slijpplaat rond zijn (de wortels dus verticaal), het aantal getelde coupes een maat is voor de wortellengte in  $\text{cm}/\text{cm}^3$ . Als echter de richting niet expliciet loodrecht is, kan het aantal coupes met 2 worden vermenigvuldigd om de wortellengte te benaderen. Als we deze methode volgen en vergelijken met de waarden die de Quantimet geeft voor de laag die daar praktisch op aansluit, dan krijgen we het volgende beeld (tabel 18).

*Tabel 18 Vergelijking wortellengte in  $\text{cm}/\text{cm}^3$  vlg. slijpplaat en Quantimet*

Object	Slijpplaat		Quantimet	
	maaien	weiden	maaien	weiden
0 ton	4,4	4	6,0	4,2
8 ton	3,5	1,9	2,7	5,5
16 ton	0,8	1,7	5,4	2,7

#### *Totale wortellengte*

Evenals in 1988 in de voorproef (n=5) is in 1990 in de splitplotproef (n=24) de totale wortellengte berekend per object en per snede. De waarden staan weergegeven in tabel 19. Tussen haakjes staan de waarden zoals die in de voorproef werden bepaald.

*Tabel 19 Totale berekende wortellengte bij een bewortelingsdiepte van 40 cm voor de eerste, tweede en vijfde snede in 1990 uitgedrukt in  $\text{km}/\text{m}^2$*

Object	< snede 1	snede 2	snede 5
A	66 (62)	40 (64)	35
B	49 (70)	40 (50)	33
C	49 (89)	47 (91)	30

In de voorproef was sprake van een toename in wortellengte bij grotere dichtheid. Dit is in de splitplotproef alleen in de tweede snede teruggevonden.

### Homogeniteitsindex (HI)

Op overeenkomstige wijze als in de voorproef is ook in 1990 de homogeniteitsindex bepaald over de 3 sneden volgens de formule:

$$HI = 1 - \left\{ \frac{n}{n-1} \sum_{l=1}^n \left( F_e - \frac{1}{n} \right)^2 \right\}$$

waarin: HI = Homogeniteitsindex;  
n = aantal lagen;  
F = relatieve frequentie per laag  
l = laag

**Tabel 20** Homogeniteit in beworteling voor de eerste, tweede en vijfde snede in 1990 en tussen haakjes de HI-waarden uit de voorproef

Object	snede 1	snede 2	snede 5
A	0,93 (0,80)	0,92 (0,79)	0,91
B	0,83 (0,63)	0,93 (0,79)	0,75
C	0,84 (0,70)	0,93 (0,77)	0,81

HI = 0 betekent extreem oppervlakkige beworteling;

HI = 1 betekent zeer homogene opbouw van de beworteling.

Het valt op dat de HI in 1990 hoger is dan in 1988. Dit verschil is vooral een gevolg van de extreem hoge wortellengten die in 1988 in de toplaag werden gevonden. Verder valt op dat het onbehandelde object het meest homogene bewortelingspatroon laat zien. Tussen de beide andere objecten is weinig verschil in homogeniteit te bespeuren. Het meest homogeen wat betreft beworteling zijn de objecten in de tweede snede.

### Worteldiameters

Bij het bewortelingsonderzoek in 1990 is met behulp van de Quantimet onderscheid gemaakt in tien diameterklassen. Tabel 21 geeft een indruk van de gemiddelde diameter per belastingtrap en per laag van de tweede snede.

**Tabel 21** Gemiddelde diameter van graswortels per belastingtrap en per laag in micrometer met bijbehorende standaardafwijking (n=24)

Object	laag	gem. diam.	sa
A (0 ton)	1	650	63
	2	620	82
	3	622	82
	4	529	55
	gemiddeld	605 $\mu$ m	

Vervolg tabel 21

Object	laag	gem. diam.	sa
B (8 ton)	1	545	103
	2	662	171
	3	645	155
	4	500	75
	gemiddeld	588 $\mu\text{m}$	
C (16 ton)	1	599	95
	2	543	41
	3	520	81
	4	489	75
	gemiddeld	538 $\mu\text{m}$	

De grootste variatie in diameterklassen werd gevonden op het matig verdichte object B. De variaties op het sterk verdichte object C en het niet verdichte object A ontlopen elkaar weinig. De worteldiameter loopt bij toenemende belasting tot 16 ton met ongeveer 12% terug. Ook bij toenemende diepte loopt de gemiddelde diameter iets terug. De doorsnee graswortel heeft kennelijk een diameter van 0,5 à 0,6 mm.

### 3.2.5 Resultaten pF-onderzoek

In 1989 zijn in drievoud pF-curven bepaald van de lagen 5-12, 28-35 en 53-60 cm beneden maaiveld van object B en C. Uit het verloop van de ondiepste curven van C in vergelijking met B komt duidelijk tot uiting dat verdichting van invloed is op het verloop van de curve. Als de curven op elkaar geprojecteerd worden blijkt dat de curven van object C een steiler verloop vertonen dan die van B (fig. 13).

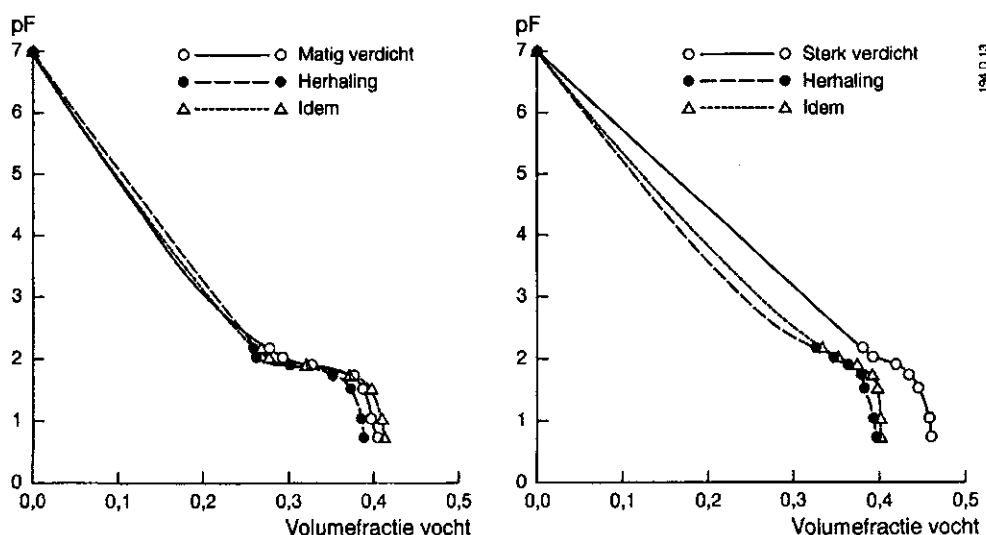


Fig. 13 Vochtcharacteristieken van grondmonsters uit de A-horizont van een zwak lemige verwerkte veldpodzolgrond (5-12 cm - mv.). Object no. 379 Cranendonck voorjaar 1989



Concreet betekent dit in de Cranendonckse situatie, dat bij  $pF=2$  de volumefractie poriën met een equivalent poriëndiameter  $< 30 \mu m$  als gevolg van deze verdichting toeneemt van 0,27 tot 0,36. Dit is geen absolute toename van het poriënvolume, maar een herschikking ervan ten koste van poriën met grotere diameter. Het betekent wel dat het water in deze sterk verdichte situaties (kleinere equivalent poriëndiameter) geleidelijker wordt afgestaan aan de wortels dan in onverdichte situaties, maar ook dat poriën met een kleine diameter als ze geleege worden een grotere zuigkracht hebben dan poriën met grotere diameter. Dit laatste betekent weer dat verdichting tot gevolg heeft dat de capillaire stijghoogte wordt vergroot, waardoor op termijn meer water hetzij uit het grondwater hetzij lateraal voor het gewas ter beschikking komt.

Het gewichtsvochtgehalte (bemonsterd bij de vijfde snede in 1990) bedroeg in de bovenlaag gemiddeld 11,8% voor het onbehandelde object A, 10,7% voor het matig verdichte object B en 12,9% voor het sterk verdichte object C. Omgerekend naar volumepercentage vocht is dit in de bovenste 40 cm voor het onbehandelde object gemiddeld 12,3% tegen 12,6% in object B en 14,7% in object C. Een verschil van gemiddeld  $4 \times 2,4 \text{ mm} = 9,6 \text{ mm}$  meer vocht in object C vergeleken met object A. Hieruit blijkt de betere vochtvoorziening van het sterkst verdichte object. Omdat op deze korte afstand verschillen in neerslaghoeveelheden van die grootte niet erg waarschijnlijk zijn en er niet kunstmatig is berekend, moet worden aangenomen dat het verschil in gemiddeld volumepercentage vocht is ontstaan door een betere capillaire nalevering of door een efficiëntere vochtbenutting op het sterkst verdichte object. Van een slechtere beworteling is op dit object ten opzichte van de andere objecten geen sprake.

### 3.2.6 Weersgesteldheid

Bij het karakteriseren van het weer blijkt het potentiële neerslagtekort geen goede maat te zijn voor de mate waarin vochttekorten voor het gewas optreden. Een betere benadering wordt verkregen door de overschrijdingskans van het maximale cumulatieve neerslagtekort in een aaneengesloten periode binnen het groeiseizoen (LAGO 1984).

In figuur 14 zijn de cumulatieve neerslagtekorten (CNT) per decade gedurende de periode april t/m september voor de jaren 1988 t/m 1992 weergegeven. De cumulatieve neerslagtekorten zijn gebaseerd op decadewaarden voor de verdamping van gras te Eindhoven en van de neerslag op het ROC de Cranendonck bij Maarheeze. De grafische weergave van het neerslagtekort tegen de tijd maakt zowel het begin als het einde van de droge periode als de duur ervan duidelijk zichtbaar. Naarmate deze periode langer is, wordt er in toenemende mate een aanslag gedaan op de bodemvochtvoorraad. In tabel 22 is het CNT in mm voor elk van de jaren weergegeven met zijn droogtegraad of overschrijdingskans ten opzichte van het langjarig gemiddelde van Eindhoven.

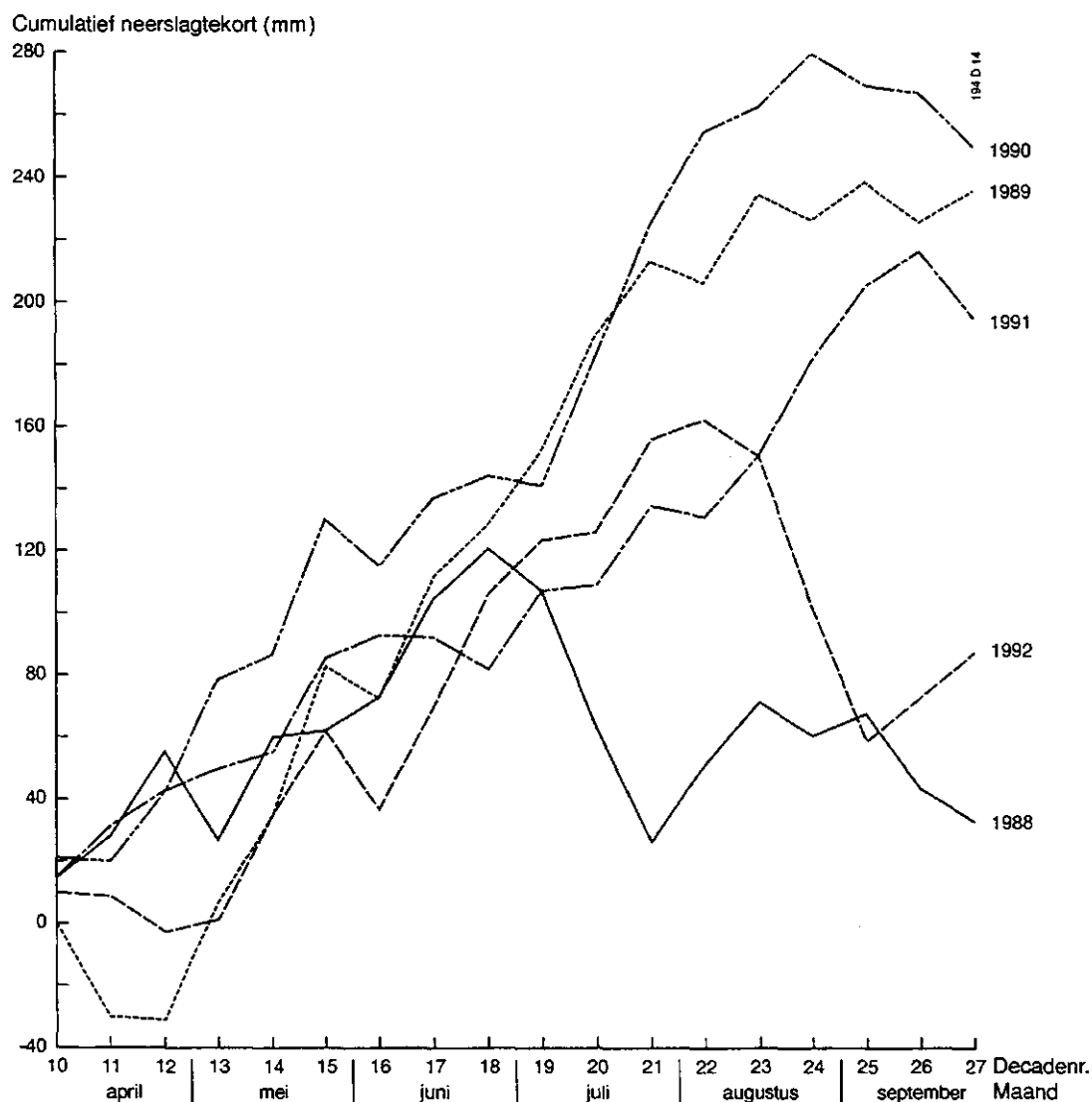


Fig. 14 Cumulatief neerslagtekort (mm) Cranendonck/Eindhoven per decade gedurende de periode april t/m september voor de jaren 1988 t/m 1992

Tabel 22 Cumulatieve neerslagtekorten in mm over de periode april t/m september met overschrijdingskansen ten opzichte van Midden- en Oost-Brabant

Jaar	Cumul.neerslagte- kort in mm (CNT)	Droogtegraad/over- schrijdingskansen in %
1988	106	71
1989	270	8
1990	259	10
1991	202	17
1992	165	37

Uit bovenstaand staatje blijkt dat afgezien van 1988 alle jaren op Cranendonck droger zijn geweest dan gemiddeld. Zeer droog waren 1989 en 1990 en in iets mindere mate ook nog 1991.

### 3.3 Statistische bewerking van data van 3 sneden in 1990 voor bodemdichtheid

#### 3.3.1 Invloed van belasting op bodemdichtheid

Om de hypothese als genoemd in de inleiding op hoofdstuk 3 te toetsen, is onderzocht of er een relatie bestaat tussen de dichtheid van de grond uitgedrukt als poriënindex ( $I_p$ ) en de wortellengte van gras. Verschillen in dichtheid zijn aangebracht door verschillen in belasting (0, 8 en 16 ton) en mogelijk door het gevoerde beheer (maaïen of gecombineerd gebruik hierna aangeduid met beweiden).

Men kan dus de volgende vragen opwerpen:

- 1) Hebben belasting en of gebruik effect op de dichtheid ( $I_p$ )?
- 2) Hebben belasting en of gebruik effect op wortellengte?
- 3) Bestaat er een relatie tussen  $I_p$  en wortellengte?

Het antwoord op vraag 1 moet uitsluitend geven of de toegepaste behandeling met het belastingframe en het verschil in beheer inderdaad verschillen in dichtheid ( $I_p$ ) van de grond te zien geven. De vragen 2 en 3 betreffen rechtstreeks de eigenlijke onderzoeksvraag.

Van een groot aantal grasmonsters is de wortellengte van het gras op twee manieren bepaald (geteld volgens de Intersectmethode en gescand met de Quantimet). Omdat het schonen van graswortels een zeer tijdrovend werkje is, is de nevenvraag opgeworpen of er een goede relatie bestaat tussen deze twee meetmethoden. De statistische analyses zijn uitgevoerd per laag. Het effect van gebruik en belasting op  $I_p$  respectievelijk wortellengte is onderzocht met behulp van variantieanalyse voor de in 4.1 beschreven splitplotproef. Voor de berekeningen is het computerprogramma Genstat gebruikt. (Genstat 5 Committee, 1987). In alle tabellen staan de significante waarden steeds cursief afgedrukt.

#### 3.3.2 P-waarden voor effecten van belasting op bodemdichtheid

Met behulp van ANOVA is onderzocht of alle behandelingen met de belastingrol wel tot de gewenste grotere dichtheid hebben geleid en ook of gebruik (maaïen versus beweiden) nog van invloed is geweest op de dichtheid. Als criterium wordt hiervoor de P-waarde gehanteerd waarbij het verband significant verondersteld wordt bij P-waarden kleiner dan 0,05. Tabellen 23 met P-waarden voor de eerste, tweede en vijfde snede laat alleen in de laatste snede een significante invloed zien van het gebruik.

*Tabel 23 P-waarden voor effect van belasting en gebruik op Ip voor 3 snedes in 1990 (effecten zijn significant voor  $P < 0,05$ )*

Snede 1	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
Gebruik		0,96	0,88	0,14	0,30
Belasting		0,18	<0,001	<0,001	<0,001
Gebruik. Belasting		0,54	0,82	0,09	0,53
Snede 2	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
Gebruik		0,21	0,30	0,79	0,54
Belasting		0,44	<0,001	<0,001	0,08
Gebruik. Belasting		0,44	0,53	0,38	0,69
Snede 5	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
Gebruik		0,02	0,01	0,44	0,003
Belasting		0,44	0,04	0,002	0,002
Gebruik. Belasting		0,07	0,99	0,19	0,76

### 3.3.3 Bodemdichtheid in afhankelijkheid van gebruik

De gemiddelde Ip-waarden ( $n=12$ ) geven een idee van de bodemdichtheden zoals die onder invloed van verschil in beheer werden gevonden (tabel 24). Het beweiden kan bij snede 1 in dit vroege stadium (vóór 21 maart) nog geen bijdrage geleverd hebben aan eventuele extra verdichting. Als beweiding in het voorafgaande jaar wel effect gehad heeft, kan dit in de loop van de winter door opvriezen weer ongedaan zijn gemaakt. Pas in de laatste snede is er sprake van een significant verschil in dichtheid tussen maaïen versus beweiden in de twee bovenste lagen. In beide gevallen heeft beweiding geleid tot een lagere Ip dat wil zeggen een hogere dichtheid. Voor de eerste snede en bij de tweede snede waren er nog geen aantoonbare verschillen. Nu aan het einde van het groeiseizoen is kennelijk de frequentie van betreding door vee wel van invloed op de dichtheid geweest. Dat in de vierde laag ook nog een significant verschil werd gevonden moet op toeval berusten.

*Tabel 24 Gemiddelde Ip-waarden onder gebruik maaïen resp. beweiden per laag*

Laag	Maai/bew. 4-13	Maai/bew. 13-22	Maai/bew. 22-31	Maai/bew. 31-40
snede 1	0,95 - 0,94	0,80 - 0,81	0,83 - 0,87	0,78 - 0,82
snede 2	0,95 - 0,94	0,80 - 0,81	0,83 - 0,87	0,78 - 0,82
snede 5	1,06 - 0,93	0,81 - 0,75	0,93 - 0,89	0,82 - 0,84

### 3.3.4 Bodemdichtheid in afhankelijkheid van belasting

Opmerkelijk in tabel 25 is de grote overeenstemming tussen de sneden waar het gaat om de rechtstreekse invloed van de belastingrol op de dichtheid. Alle drie sneden laten cursief gedrukte, dat wil zeggen significante waarden zien vanaf laag twee. In geen van de drie sneden is in de toplaag sprake van een significante invloed van de belasting op de dichtheid. Dit laatste moet worden toegeschreven aan de elasticiteit van de zode.

**Tabel 25** *Gemiddelde dichtheid ( $I_p$ ) per bodemlaag in afhankelijkheid van belasting voor 3 sneden in 1990. Voor snede 1 staan de gemiddelde dichtheidscijfers ( $\text{gr/cm}^3$ ) tussen haakjes*

Snede 1	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		0,97 (1,40)	0,90 (1,43)	0,95 (1,41)	0,87 (1,50)
8 ton		0,95 (1,40)	0,81 (1,49)	0,85 (1,47)	0,80 (1,54)
16 ton		0,91 (1,42)	0,72 (1,55)	0,75 (1,56)	0,74 (1,58)

Snede 2	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		0,99	0,87	0,90	0,86
8 ton		1,07	0,78	0,85	0,84
16 ton		1,05	0,70	0,73	0,76

Snede 5	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		1,04	0,83	1,01	0,89
8 ton		0,98	0,78	0,92	0,84
16 ton		0,97	0,73	0,81	0,76

### 3.3.5 Interacties van belasting en gebruik op dichtheid ( $I_p$ )

**Tabel 26** *Interacties van belasting en gebruik op dichtheid ( $I_p$ )*

		Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.
Snede 1	Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		0,99/0,95	0,89/0,91	0,90/1,00	0,83/0,91
8 ton		0,90/0,95	0,80/0,81	0,83/0,87	0,79/0,81
16 ton		0,90/0,93	0,73/0,72	0,75/0,75	0,73/0,75

Snede 2	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		1,06/0,92	0,89/0,88	0,93/0,80	0,84/0,88
8 ton		1,22/0,92	0,81/0,75	0,85/0,86	0,83/0,86
16 ton		1,19/0,91	0,71/0,69	0,72/0,74	0,78/0,75

Vervolg tabel 26

Snedes 5 laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton	1,13/0,95	0,87/0,80	1,09/0,93	0,89/0,89
8 ton	1,10/0,86	0,82/0,75	0,91/0,93	0,84/0,84
16 ton	0,95/0,98	0,76/0,70	0,80/0,82	0,74/0,79

De variatie in  $I_p$  onder maaien lijkt in de toplaag van snede 2 aanzienlijk groter dan onder beweiden. De verschillen zijn echter niet significant. Voor de twee bovenste lagen geldt dat beweiding in de loop van het groeiseizoen de dichtheid nog heeft versterkt. Immers, betreding door vee zal zeker op het onbelaste weideobject op termijn leiden tot een hogere dichtheid in vergelijking tot het maaiobject. Dit effect manifesteert zich ook nog in de tweede laag. In combinatie met belasting echter levert gebruik geen significante interacties op.

### 3.4 Statistische bewerking van data van 3 sneden met betrekking tot wortellengte in 1990

De effecten van de behandeling met de belastingrol en van gebruik op de wortellengte van gras is op soortgelijke wijze statistisch geanalyseerd als de effecten op bodemdichtheid. De wortellengte is gemeten op twee manieren, volgens de Quantimet en handmatig. De gegevens verkregen met de Quantimet zijn het volledigst en zullen daarom eerst behandeld worden. De wortellengtes van een deel van de grasmonsters zijn volgens beide methoden gemeten. De handmatig volgens de Intersectmethode verkregen metingen worden op dezelfde manier geanalyseerd als de metingen met de Quantimet en vervolgens met elkaar vergeleken.

#### 3.4.1 Invloed van belasting en/of gebruik op wortellengte

De relatie tussen  $I_p$  en wortellengte is onderzocht met behulp van regressieanalyse. Omdat de wortellengte erg variabel blijkt te zijn, is daarop voor de analyse een logtransformatie toegepast. De variatie hangt dan minder samen met het niveau. Bovendien zijn voor positieve variabelen proportionele effecten realistischer dan constante. Met andere woorden: logtransformatie heeft als voordeel dat eventuele uitbijters in de waarnemingen minder gewicht in de schaal leggen. Logtransformatie heeft voor geen van de 3 sneden geleid tot significant andere waarden.

Als gevolg van een fout bij de bemonstering in de tweede snede is de vierde herhaling van de belasting met 0 ton vervallen en abusievelijk vervangen door een extra herhaling bij een belasting met 8 ton. De proef is daardoor uit balans en moet dus eigenlijk met REML geanalyseerd worden. Een benaderende analyse met behulp van ANOVA is verkregen door de proef als volgt gebalanceerd te maken: de veldjes 29 en 46, respectievelijk maai- en weideveldje uit subplot 2 (8 ton), worden bij subplot 1 (0 ton) gevoegd en de bijbehorende waarnemingen worden door gemiste waarden vervangen.

Voor de berekeningen is het computerprogramma Genstat gebruikt. (Genstat 5 Committee, 1987). In alle tabellen staan de significante waarden steeds cursief afgedrukt.

### 3.4.2 P-waarden voor effecten van belasting op wortellengte volgens Quantimet

Met ANOVA is nagegaan of gebruik respectievelijk belasting invloed heeft op wortellengte en of er mogelijk sprake is van interactie tussen deze twee. Voor 'gebruik' werd alleen in de vierde laag van de tweede snede een significant verband aangetoond. Op die diepte is invloed van beheer erg onwaarschijnlijk. Het verband moet dus op toeval berusten (tabel 27).

Belasting heeft wel een significant effect op wortellengte, zij het alleen in de eerste snede en pas vanaf de tweede laag. Na toepassing van logtransformatie (waarden tussen haakjes) bleek ook bij de vijfde snede belasting een significant effect te hebben in de 2 bovenste lagen.

**Tabel 27** *P-waarden voor effect van gebruik en belasting op wortellengte vlg. de Quantimet (effecten zijn significant voor  $p < 0,05$ )*

<b>Snede 1</b>	<b>laag</b>	<b>4-13</b>	<b>13-22</b>	<b>22-31</b>	<b>31-40</b>
<b>Gebruik</b>		0,91	0,67	0,10	0,73
<b>Belasting</b>		0,80	0,002	<0,001	<0,001
<b>Gebruik. Belasting</b>		0,03	0,57	0,77	0,74
<b>Snede 2</b>	<b>laag</b>	<b>4-13</b>	<b>13-22</b>	<b>22-31</b>	<b>31-40</b>
<b>Gebruik</b>		0,88	0,64	0,84	0,005
<b>Belasting</b>		0,66	0,63	0,40	0,23
<b>Gebruik. Belasting</b>		0,20	0,20	0,73	0,07
<b>Snede 5</b>	<b>laag</b>	<b>4-13</b>	<b>13-22</b>	<b>22-31</b>	<b>31-40</b>
<b>Gebruik</b>		0,40	0,64	0,62	0,057
<b>Belasting</b>		0,18 (0,05)	0,08 (0,01)	0,68	<0,001
<b>Gebruik. Belasting</b>		0,32	0,60	0,09 (0,01)	<0,001

### 3.4.3 Wortellengte in afhankelijkheid van gebruik

In tabel 28 zijn alle wortellengten van het maai- en weidedeel, ongeacht het belastingniveau, gemiddeld. In de derde laag van de eerste snede lijkt de beworteling onder beweiding iets achter te blijven bij die onder maaibeheer. Het gemeten verschil is echter niet significant. In de tweede snede is er geen verschil in wortellengte tussen beide

beheervormen. Het significante verschil in de vierde laag moet op toeval berusten. De invloed van beweiding reikt niet zo diep.

*Tabel 28 Gemiddelde wortellengte (cm/cm<sup>3</sup>) bij maaien respectievelijk beweiden*

Laag	Maai/bew. 4-13	Maai/bew. 13-22	Maai/bew. 22-31	Maai/bew. 31-40
snede 1	26,9/26,6	14,2/13,4	10,3/7,4	5,0/5,2
snede 2	18,7/18,1	9,6/10,8	7,8/7,5	5,1/6,7
snede 5	16,1/18,7	7,9/ 6,8	4,7/4,1	4,2/2,8

### 3.4.4 Wortellengte in afhankelijkheid van belasting

In de eerste snede van 1990 (tabel 29) is er een significant verschil in wortellengte tussen het onbehandelde object enerzijds en de beide verdichte objecten anderzijds. De totale wortellengte is voor de verdichte objecten ongeveer 25% lager dan voor het onbehandelde object. In de tweede snede echter heeft het sterkst verdichte object 12% meer wortels dan object A, terwijl dat in de vijfde snede juist weer omgekeerd ligt. Vergelijking van de wortellengten met de cijfers bepaald in 1988 (cijfers tussen haakjes) laten voor de twee diepste lagen ongeveer vergelijkbare waarden zien. De cijfers van met name de bovenste laag wijken echter in sterke mate af van de cijfers zoals wij die hebben gevonden. De conclusie van Spek in 1988, dat verdichting leidt tot extra wortelvorming, gaat in 1990 alleen op voor de tweede snede. De verschillen zijn echter niet significant. Er is echter een duidelijke trend dat lasten boven 8 ton op dit soort gronden geen extra rem van betekenis vormen voor de beworteling van gras.

*Tabel 29 Effect van de belasting op de gem. wortellengte in 1990. Gemiddelde wortellengte in cm/cm<sup>3</sup> volgens de Quantimet. Tussen haakjes de gemiddelde wortellengte volgens de Intersect-methode (1988).*

Snede 1	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		27,1 (48)	18,7 (14,7)	13,2 (9,0)	6,7 (6,4)
8 ton		27,2 (60,3)	11,3 (12,0)	6,4 (8,0)	5,0 (4,1)
16 ton		25,9 (78,9)	11,5 (15,4)	6,8 (10,8)	3,5 (7,6)
Snede 2	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		18,6 (51,4)	9,4 (14,7)	6,9 (8,5)	6,2 (5,3)
8 ton		17,2 (53,0)	9,7 (16,9)	7,5 (7,3)	5,0 (7,9)
16 ton		19,5 (53,0)	11,5 (23,8)	8,5 (11,3)	6,4 (7,0)
Snede 5	laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		15,6	8,7	5,1	5,4
8 ton		19,5	7,3	4,1	2,0
16 ton		17,0	6,0	4,1	3,1



### 3.4.5 Interacties van gebruik en belasting op wortellengte

Alleen in de eerste laag van de eerste snede (tabel 30) en de vierde laag van de vijfde snede is sprake van een significant effect van interactie tussen belasting en gebruik op wortellengte.

**Tabel 30** *Invloed van belasting in combinatie met graslandgebruik (maaien of weiden) op de gemiddelde wortellengte (cm/cm<sup>3</sup>) per laag en per snede in 1990*

		Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.
Snede 1	Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0	ton	24,4/29,9	18,1/19,3	15,0/11,5	6,6/6,8
8	ton	26,9/27,5	11,4/11,2	7,3/ 5,6	5,5/4,8
16	ton	29,3/22,5	13,2/ 9,8	8,5/ 5,1	3,1/3,9

		Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.
Snede 2	Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0	ton	16,8/20,4	10,4/ 8,4	7,2/6,7	6,3/6,1
8	ton	20,2/14,2	10,1/ 9,3	7,2/7,9	4,5/5,5
16	ton	19,2/19,7	8,3/14,7	9,1/7,9	4,4/8,4

		Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.	Maai/bew.
Snede 5	Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0	ton	12,9/18,4	8,7/8,7	6,0/4,2	8,4/2,4
8	ton	17,7/21,1	7,9/6,9	2,7/5,5	1,8/2,2
16	ton	17,4/16,7	7,2/4,9	5,4/2,7	2,4/3,7

### 3.4.6 Relaties tussen wortellengte volgens de Intersect-methode en belasting en gebruik (alleen vijfde snede 1990)

Dezelfde statistische bewerking als reeds besproken, is voor de vijfde snede nog eens herhaald, maar dan met de wortellengtegegevens verkregen volgens de Intersect-methode.

**Tabel 31** *Effect van gebruik op de wortellengte volgens Intersect-methode, gemiddelde wortellengte (cm/cm<sup>3</sup>) bij maaien respectievelijk beweiden in 1990*

Snede 5	Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
maaien-weiden		17,4-16,2	9,9-11,3	7,8-8,7	6,0-5,9

De wortellengte van gras blijkt niet significant beïnvloed te worden door het gebruik.

**Tabel 32** *Effect van de belasting op de gemiddelde wortellengte in 1990, gemiddelde wortellengte in cm/cm<sup>3</sup> volgens de Intersect-methode*

Snedes	Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
0 ton		16,8	10,7	7,5	5,3
8 ton		17,6	10,4	8,0	5,7
16 ton		16,1	10,7	9,3	6,8

De wortellengte blijkt niet significant beïnvloed te worden door de aangebrachte belasting.

**Tabel 33** *Invloed van belasting in combinatie met graslandgebruik (maaien of weiden) op de gemiddelde wortellengte (cm/cm<sup>3</sup>) per laag en per snede*

	Maai/bew. laag 1	Maai/bew. laag 2	Maai/bew. laag 3	Maai/bew. laag 4
0 ton	15,5/18,0	10,3/11,1	8,1/ 6,9	5,9/4,8
8 ton	20,7/14,5	9,5/11,3	7,3/ 8,7	5,5/6,0
16 ton	16,0/16,2	9,9/11,5	8,0/10,5	6,6/7,0

In de eerste en derde laag is sprake van significante interacties. Bij 0 ton scoort in de toplaat beweiding het hoogst in wortellengte, bij 8 ton is dat maaien en bij 16 ton is er geen verschil in wortellengte tussen beide beheervormen. In de derde laag zijn de rollen vrijwel omgedraaid.

**Tabel 34** *Vergelijking wortellengten Quantimet versus Intersect-methode vijfde snede*

Methodieken	Intersect			versus	Quantimet		
Object	A	B	C		A	B	C
Belasting	0 ton	8 ton	16 ton		0 ton	8 ton	16 ton
Laag							
4-13	17	18	16		16	20	17
13-22	11	10	11		9	7	6
22-31	8	8	9		5	4	4
31-40	5	6	7		5	2	3
Totaal	41	42	43		35	33	30

De grote verschillen in wortellengte tussen beide bepalingsmethodieken komen vooral tot uiting in de onderste twee lagen. Dit zijn de lagen met de jongste, fijnste, meest doorzichtige en meest breukgevoelige wortels.

Er is bij deze laatste snede behalve de vragen zoals ook gesteld bij snede 1 en 2 de nevenvraag gesteld of er een relatie is tussen de wortellengte bepaald met de Quantimet en met de Intersect-methode. Omdat op een groot aantal monsters van deze snede beide bepalingsmethoden zijn losgelaten is hierop een regressie-analyse toegepast.

**Tabel 35 Relaties tussen de beide gebruikte telmethoden Quantimet- versus Intersect-methode**

Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
P-waarden	0,69	0,63	0,03	0,44
% verklaarde var.	0	0	7,7	0

Conclusie: er is geen of een zeer zwakke relatie tussen beide telmethoden in de laatste snede. Dit is vreemd maar wel begrijpelijk. Het tellen volgens de Intersect-methode is gebeurd door 3 verschillende personen, die op den duur ieder een eigen interpretatie hadden van wat dood en wat levend wortelmateriaal is. Gezamenlijk is object voor object afgewerkt. Had ieder een eigen object gekregen, dan zou waarschijnlijk wel een relatie tussen beide telmethoden gevonden zijn. Een tweede foutenbron is het onvermogen van de Quantimet om zeer dunne wortels met weinig contrast op te merken. Ook bij het spoelen en naschonen, evenals bij het regelmatig spreiden kunnen fouten zijn gemaakt. Om grip op de grootte van de spoelverliezen te krijgen, is van een groot aantal wortelmonsters het 'badwater' nog eens met behulp van de Intersectmethode op wortellengte nagekeken. Dit leidde tot verrassend grote correcties die verhoudingsgewijs het grootst waren voor de diepste lagen (jonge wortels zijn breukgevoeliger).

#### 3.4.7 Droge stof versus wortellengte

Met behulp van regressie-analyse is onderzocht of er voor het groeiseizoen 1990 een directe relatie bestaat tussen wortellengte en de droge-stofopbrengst van gras. De droge-stofopbrengst van elk 400 N veldje van snede 1 is gerelateerd aan de gemiddelde wortellengte van 3 opnamen per veldje. De door de Quantimet gemeten lengten zijn per laag over de 3 monsterplekken gemiddeld en daarna gesommeerd over de 4 lagen. Tevens is een analyse uitgevoerd waarbij de bovenste laag buiten beschouwing is gelaten, omdat deze laag een grotere meetfout heeft en in de zomer een minder prominente rol speelt bij de vochtopname in vergelijking met de diepere lagen. Wij hebben op Cranendonck evenmin als Alblas et al. (1990) in hun proef op Westerhoven een verband gevonden tussen droge-stofopbrengst en wortellengte van gras. In geen van de drie onderzochte sneden, ook niet wanneer de bovenste laag buiten beschouwing werd gelaten, was er sprake van een relatie tussen beworteling en opbrengst van droge stof. Ook toepassing van logtransformatie op de wortellengte leidde niet tot lagere p-waarden.

**Tabel 36 Relaties tussen wortellengte versus droge-stofopbrengst van gras in 1990**

Laag	4-13	13-22	22-31	31-40
P-waarden	0,08	0,62	0,20	0,11
% verklaarde var.	0	0	0	0

#### 3.4.8 Losse-zodenproblematiek

Omdat de proefperceeltjes betrekkelijk smal waren, kon geen goed beeld verkregen worden of verdichting mogelijk het fenomeen van de losse zoden versterkt. Losse zoden werden wel (zij het in bescheiden mate) aangetroffen. Het rundvee tracht door schudbewegingen met de kop het zodedeel van de graspluk te scheiden, waarbij de losgetrokken zode door de schudbewegingen grote kans maakt op een naastgelegen object terecht te komen. Het was onmogelijk de herkomst van de losse plukken na te gaan. Er is daarom verder geen aandacht meer geschonken aan deze problematiek.

#### 4 DISCUSSIE

Uit de voorproef blijkt dat bij een matige verdichting het aantal hoofdwortels afneemt. Kennelijk wordt het merendeel van de doorgaande macroporiën ten gevolge van de verdichting zodanig dichtgedrukt, dat de gemiddelde poriediameter kleiner wordt dan de gemiddelde worteldiameter. De normale reactie van wortels op een dergelijke situatie is vertakking. Er wordt bij grassen een grote hoeveelheid zijwortels gevormd die bij deze graad van verdichting met hun kleinere diameter nog wel mogelijkheden zien om het profiel te doorwortelen. De lengtegroei van deze zijwortels is beperkt, niet vanwege het ontbreken van geschikte poriën, maar vanwege het energetisch ongunstige watertransport door de zeer fijne wortels (Engels Raaigras 50-150  $\mu\text{m}$ ) bij grotere wortellengten. Waar in de voorproef nog sprake is van een toename met 10% van de wortellengte bij toenemende dichtheid onder matige verdichting tot 25% toename bij sterke verdichting, heeft dat in 1989 in de eerste snede geleid tot een terugval in de wortellengte van 7,5% voor object B, waar tegenover echter nog wel een toename met 10% voor object C werd genoteerd. In de vijfde snede echter scoorden beide verdichte objecten in wortellengte lager dan A en wel met 10 en 20% respectievelijk voor B en C. Hierbij dient echter wel te worden vermeld dat dit Quantimetcijfers zijn, dat wil zeggen dat de werkelijke wortellengte (door het missen van de fijnste zijwortels) vooral op de verdichte objecten zal zijn onderschat.

In 1990 werd alleen in de eerste snede een significant verschil gevonden in wortellengte in het voordeel van object A. In de tweede snede en vijfde snede was er geen verschil in wortellengte tussen de objecten.

Samendrukken van grond met een rol is niet te vergelijken met het samendrukken door middel van een stempel. Bij een statische belasting zijn steeds dezelfde poriën voorwerp van druk, terwijl bij rollen steeds andere poriën kortstondig worden belast. Als met een constante, relatief hoge snelheid (4 km/uur) wordt gerold, ontstaat vlak voor de rol, over de volle breedte, een boeggolf van grondmateriaal. Of de grond onder de rol zich vervolgens laat verdichten hangt vooral af van de hoeveelheid met water gevulde poriën en van de rijsnelheid/belastingsduur.

Om een hogere dichtheid te bewerkstelligen zal bij dezelfde belasting óf vaker over de grond gereden moeten worden, óf veel langzamer. In beide gevallen wordt de belastingduur vergroot, dat wil zeggen dat het bodemvocht meer tijd krijgt te ontwijken. Het is denkbaar dat voor bepaalde bodemcondities bij een bepaalde rijsnelheid de drempelwaarde voor het ontwijken van water wordt overschreden, zodat bij die snelheid ook zelfs veel hogere lasten geen effect meer sorteren op dichtheid. Dit zal uiteraard bij vochtige en natte gronden sneller het geval zijn dan bij droge gronden. Dit laatste zou een verklaring kunnen geven voor het feit dat bijvoorbeeld het sterk verdichte veld in de voorproef, in vergelijking met de uitgangssituatie, in totale porositeit bijna een kwart hoger scoort (48,8 om 39,2% porositeit). Omdat water niet samendrukbaar is en bij de gegeven rijsnelheid niet snel genoeg heeft kunnen uitwijken is het denkbaar dat het aanwezige water de holten voor samendrukken heeft behoeft.

Over het algemeen zijn volgens de literatuur, opbrengsten negatief gecorreleerd met verdichting. De belangrijkste gevolgen van een dergelijke negatieve gewasreactie op bodemverdichting, is dat door bodemverdichting direct of indirect de toevoer van water en/of ionen wordt geblokkeerd. Echter, opbrengsten kunnen ook positief met verdichting gecorreleerd zijn. Dat geldt bijvoorbeeld voor zeer losse gronden, waarin de verankering en/of capillaire nalevering te wensen overlaat (Darcey et al, 1984). Onder heiningen op zandgrond is de grond door het bodemleven (mieren) vaak zodanig los gemaakt, dat gras in droge perioden daar het eerst verdroogt. Bodemverdichting op zandgrond gaat weliswaar gepaard met een afname van het bodemvolume, maar dat heeft als voordeel dat de capillaire werking in gunstige zin wordt beïnvloedt. Bij verdichting van de grond door berijding, worden in eerste instantie vooral de grote poriën dichtgedrukt. Dit belemmert in het algemeen sterk de wortelgroei, vooral wanneer de poriëndiameter, kleiner is dan de gemiddelde worteldiameter (Wiersum, 1957). Wortels met een kleine diameter zoals gras zijn dan ook in een medium met overwegend fijne poriën in het voordeel ten opzichte van bijvoorbeeld gewassen als bieten, maïs en aardappelen. Boone (1976) vermeldt dat de fijne wortels van Engels Raai een verdichte laag veel beter doorwortelen dan maïs. Wortels groeien in bestaande poriën en scheuren, of banen zich een eigen weg door de bodemmatrix. In het eerste geval staat de wortel slechts ten dele in contact met de grond. In het tweede geval is er sprake van 100% wortel/grondcontact (wgc), althans in de initiële fase. De opname van water en voedsel neemt toe bij toenemend wgc, maar de zuurstofopname daarentegen kan onder natte omstandigheden teruglopen (Van Noordwijk et al, 1993). Dezelfde onderzoekers vonden dat het wgc toenam bij toenemende dichtheid en dat wortels vooral groeien langs aggregaatwanden en de directe oversteek van grotere holten bij voorkeur vermijden.

In ons onderzoek naar de mate van wgc aan horizontaal genomen slijpplaten van 17 cm -maaiveld is geen sprake van een consistente trend. Afgaande op het percentage zogenaamde 'lange wortels' (wortels die op doorsnee een meer ovale of langwerpige coupe vertonen, wat op sterke verdichting zou wijzen) zou het onbehandelde object A met 24% tot 41% 'lange' wortels door het gras als meer verdicht ervaren worden dan object B met 15 tot 26% 'lange wortels'. Dit object op zijn beurt wordt kennelijk door de graswortels dan weer als meer storend ervaren dan object C dat met 16 ton werd verdicht en slechts 10% tot 17% "lange" wortels kent.

Een mogelijke verklaring voor dit afwijkende gedrag is dat wortels problemen hebben bij het nemen van abrupte overgangen. De overgang van los naar matig vast is voor een wortel een grotere barrière dan van matig vast naar zeer vast. Daarom ook kan object A, waarin door natuurlijke bezakking een verdichte laag is gevormd, voor de wortels een grotere bottleneck zijn dan de totaal verdichte gronden. In het laatste geval heeft de wortel geen keus, omdat de hele omgeving bijna even sterk verdicht is, in dat geval zal de natuurlijke geotrope gerichtheid de sterkste richtingbepalende factor zijn, wat in een horizontale slijpplaat zal resulteren in overwegend ronde coupes.

Uit oogpunt van arbeidsbesparing zijn in de splitplotproef ten opzichte van de voorproef een aantal minder relevante zaken achterwege gelaten. Er is verhoudingsgewijs bijvoorbeeld minder aandacht besteed aan indringingsweerstand vanwege de grote gevoeligheid van deze parameter voor verschillen in vochtgehalte. Er is in de eerste snede gewerkt met een correctiefactor van 1,18 om de door de Quantimet gemiste wortellengte

te corrigeren. In de eerste snede was er wel een rechtlijnig verband tussen de wortellengte berekend met behulp van de Intersectmethode en de wortellengte bepaald met de Quantimet 970. Dit dank zij het feit dat alle behandelingen door een en dezelfde persoon zijn uitgevoerd. Los daarvan was een aparte correctie nodig voor die wortels die nooit de Quantimet bereikten omdat ze met het spoelwater verloren gingen.

Vóór de eerste snede in 1990 zijn de wortellengten bij belasting met 8, respectievelijk 16 ton in de tweede en diepere lagen significant lager in vergelijking met onbehandeld (0 ton). In de tweede en vijfde snede echter is er geen significant verschil tussen onbehandeld en belast. Dit gegeven en het feit dat de droge-stof-opbrengsten van de behandelde objecten hoger uitvallen, wijst erop dat belasting onder de gegeven klimatologische omstandigheden de wortellengte niet nadelig heeft beïnvloed. Dat de eerste snede wel lagere wortellengten laat zien kan een gevolg zijn van berijdingsschade, die al bij de tweede snede weer is vereffend. Zie tabel met wortelontwikkeling gedurende het seizoen. Als wortels efficiënter water en voedingsionen kunnen opnemen bij een beter wortel-grondcontact, zijn per eenheid van bodemvolume minder wortels nodig om evengoed of beter te presteren dan bij een slechtere wgc.

Voorhees (1989) vond onder maïs op clay loam, in significant verdichte lagen (Iw) geen negatief effect op de wortellengte per eenheid van bodemvolume. De Laat (1992) daarentegen constateert dat maïswortels bij een hoge bodemdichtheid minder ontwikkeld zijn en dat meer wortelaanleg in de bovengrond plaatsvindt. Hij meet zeer lage zuurstofgehalten, zelfs beneden 3% op 10 cm -maaiveld zodat het waarschijnlijker is dat niet de dichtheid, maar zuurstofgebrek in dit geval de feitelijke veroorzaker is van de ondiepe beworteling.

Uit eigen ervaring weet ik dat boomwortels in sterk verdichte situaties (straatbomen) relatief veel energie steken in wortelontwikkeling in de hoop zo een uitweg te vinden uit benarde situaties. Er is dus waarschijnlijk wel een natuurlijke overlevingsdrang bij planten om in stress-situaties (hoge dichtheden) wat meer van de energie dan de normale 11% aan wortelontwikkeling te besteden. Voorhees (1992) vond dat zware belasting op goed gestructureerde kleigronden, wel een remmende invloed had op de beworteling in de bovenste 30 cm, maar dat dit leidde tot compenserende wortelgroei beneden 30 cm.

Toename van Iw en dichtheid wordt volgens dezelfde onderzoeker algemeen beschouwd als fnuikend voor wortelgroei. Dit klopt als we een individuele wortel beschouwen. Als echter een wortelgestel in zijn geheel wordt beschouwd onder veldomstandigheden, dan spelen bodemvariabiliteit, compenserende groei elders en tijdsafhankelijke wortelfuncties een veel belangrijker rol. Het is daarom ook niet te verwachten dat er een eenduidige relatie bestaat tussen bodemcondities en wortelgroei (Voorhees, 1992). De kritische droge dichtheid waarboven geen wortelgroei mogelijk is, varieert met het vochtgehalte, de textuur en de structuur (Jones, 1983).

Een Amerikaanse vuistregel zegt dat in het algemeen dichtheden boven 1,55, 1,65, 1,80 en 1,85 zeer belemmerend werken voor de wortelontwikkeling in de respectievelijke gronden clayloam, siltloam, fine sandy loam en loamy fine sands. De cone-index (CI)

geeft een zeer gebrekkige interpretatie van de indringweerstand die een wortel gedurende het groeiseizoen echt ondervindt.

Boone en Kuipers (1983) noemen hiervoor een vijftal redenen:

- Graswortels zijn veel dunner dan de conus van een penetrometer;
- Groeiende wortels zijn flexibel en volgen de weg van de minste weerstand;
- Groeiende wortelpunten oefenen anders dan de penetrometer behalve axiale ook radiale kracht uit om zich een weg door de bodemmatrix te banen;
- Wortels houden de wrijving met de grond klein door slijmafscheiding;
- Wortels groeien langzaam in afhankelijkheid van veranderende omstandigheden.

Penetrometers worden zeer snel in de grond geduwd. De cone-index varieert met het vochtgehalte, het type penetrometer en met de snelheid van penetreren. Bij gelijke dichtheid neemt de CI toe bij afnemend vochtgehalte (Larson et al, 1986). Negatieve effecten van bodemverdichting op de grasopbrengst kunnen met hogere stikstofgiften worden gecompenseerd. Effecten van bodemverdichting op de droge-stofproductie bleken alleen significant bij zeer lage stikstofgiften (Wopereis et al, 1990). Als vochttransport de beperkende factor is, dan is volgens Van Noordwijk (1983) de wortellengte per eenheid bodemvolume daarvoor de meest geëigende parameter, gevolgd door de worteldiameter.

Waar in de voorproef (1988) nog sprake was van een sterke stijging van de wortellengte bij toenemende bodemdichtheid, en dat in 1989 in de tweede snede ook nog gold voor object C, is dat in latere sneden niet meer zo aantoonbaar. In de vijfde snede (1989) scoorden beide verdichte objecten in wortellengte lager dan A en wel met 10 en 20% respectievelijk voor B en C. Hierbij dient echter wel te worden vermeld dat dit Quantimetcijfers zijn, dat wil zeggen dat de werkelijke wortellengte (door het missen van de fijnste zijwortels) vooral op de verdichte objecten mogelijk is onderschat. In 1990 werd alleen in de eerste snede een significant verschil gevonden in wortellengte in het voordeel van object A. In de tweede snede en vijfde snede is er geen verschil in wortellengte tussen de objecten. Ook dit zijn Quantimet-cijfers. De conclusie kan dan ook niet anders zijn dat verdichting van zwaklemige zandgronden onder droge omstandigheden, zoals van de laatste jaren, geen negatieve gevolgen heeft voor de totale wortellengte en evenmin voor de opbrengst. De nulhypothese - bodemverdichting remt de wortelontwikkeling onder gras - kan dus worden verworpen en de alternatieve hypothese - bodemverdichting is op pleistoceen zandgrasland niet van invloed op de totale wortellengte - aangehangen.



## 5 SYNTHESE

In de voorgaande hoofdstukken werden de resultaten beschreven van literatuur- en veldonderzoek naar de gevolgen van bodemverdichting op de beworteling en de drogestofopbrengst van grassen. In dit hoofdstuk wordt geprobeerd de verschillende resultaten met elkaar te koppelen.

De grondbewerkingen die gepaard gaan met herinzaai van grasland resulteren doorgaans in een vrij losse grond met veel macroporiën. De indringingsweerstand van zo'n grond is laag, waardoor graswortels zich vrij snel in de diepte kunnen ontwikkelen. Een nadeel van losse grond is, dat de capillaire nalevering uit het bodemvocht lager ligt dan van een bezakte grond, wat het risico op uitdrogen van de jonge zode vergroot. Als het jonge gras gaat uitstoelen vormen de nieuwe spruiten bijwortels die in het eerste groeiseizoen ongehinderd de volle bewortelbare diepte doorwortelen. Dit leidt tot een relatief zeer homogene wortelverdeling in vergelijking met latere jaren. De hoofdwortels zijn in dit stadium nog weinig vertakt en er zijn relatief weinig zijwortels per meter hoofdwortel. Door de losse structuur is het wortel-grondcontact tamelijk laag, wat ongunstig is voor de vocht- en nutriënten voorziening. In de loop van het eerste groeiseizoen treedt - ook al wordt het perceel niet beweid of bereiden - geleidelijk toch een bezakking op wat een natuurlijke vorm is van bodemverdichting. Tegelijkertijd veranderen hiermee ook een aantal bodemfysische eigenschappen.

De indringingsweerstand neemt als gevolg hiervan toe, evenals het contact tussen wortel en grond. De capillaire opstijging wordt verbeterd waardoor het vochtleverend vermogen in positieve zin wordt beïnvloed. Volgens Garwood en Sinclair (1979) zijn grassen in staat om nog vocht aan de grond te onttrekken bij waarden lager dan -15 bar. Dit betekent dat voor de bepaling van het vochtleverend vermogen van grasland bij benadering de bovengrens van  $pF = 4,2$  kan worden aangehouden. Bovenop deze fysische veranderingen komt dan nog het mineralisatie-effect door het scheuren van de oude zode.

Vanaf het moment dat vee wordt ingeschaard of het perceel met landbouw- machines wordt bereiden, neemt de bodemverdichting snel toe. Dit kan op sterk- lemnige gronden en op kleigronden leiden tot diffusieproblemen, waardoor de wortelgroei wordt belemmerd en waardoor in natte perioden denitrificatie wordt begunstigd.

## 6 CONCLUSIES EN PRAKTISCHE ASPECTEN

Concluderend kan gesteld worden dat verdichting van zwaklemige zandgronden onder droge omstandigheden, zoals in de laatste jaren, geen negatieve gevolgen heeft voor de totale wortellengte en evenmin voor de opbrengst. Alleen in het eerste proefjaar 1989 en dan nog alleen in de eerste snede leidde sterke verdichting tot een significant lagere opbrengst. Bij alle latere sneden had verdichting een tegengesteld, dat wil zeggen positief effect.

Voor de praktijk betekent deze constatering dat men op deze matig humeuze, matig fijnzandige en zwaklemige gronden, althans in relatief droge jaren, niet bang hoeft te zijn voor schade door verdichting. Berijding (met zware lasten) bij een drukhoogte van ongeveer -100 cm gemeten op 10 cm - mv leidde wel tot significant hogere dichtheden, maar dat resulteerde niet in opbrengstderving. Integendeel, het leidde tot hogere opbrengsten. De oorzaak is vermoedelijk een beter wortel-grondcontact, waardoor het vochtaanbod bij sterke verdichting (onder relatief droge omstandigheden) beter is dan onder niet verdichte omstandigheden. Dit biedt perspectief voor zowel boeren als loonwerkers. Men hoeft op dit soort gronden, tenzij er kans bestaat op insporing, niet te investeren in lage-drukbanden of met halve aslasten te gaan rijden.

## LITERATUUR

- Alblas, J., F. Wanink en H.M.G. van der Werf, 1990. *Onderzoek naar diepwortelende gewassen ter voorkoming van bodemverdichting te Westerhoven*. Interne mededeling nr. 697. Lelystad, Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de volle grond.
- Boone, F.R., 1976. *Grondbewerking als groeiregulator*. Landbouwkundig Tijdschrift 88-6: 167-172.
- Boone, F.R., H. Kuipers, 1983. *Collegedictaat Teeltkundige grondslagen Boone, F.R. (1976) Grondbewerking als groeiregulator*. In: Landbouwkundig tijdschrift nr. 88: 167-182.
- Darcey, C.L., L.H. Wilkes, K.E. Watkins, 1984. *Elevated lane for controlled wheel traffic*. ASEA paper No 84-1539, ASEA, St. Joseph, MI 49085, USA.
- Dekker, L.W., 1988. *Verspreiding, oorzaken, gevolgen en verbeterings- mogelijkheden van waterafstotende gronden in Nederland*. Rapport nr. 2046, Wageningen, Stichting voor Bodemkartering.
- Garwood, E.A., J. Sinclair, 1979. *Use of water by six grass species 2. Root distribution and use of soil water*. In: Journal of Agriculture Science Cambridge nr. 93: 25-35.
- Genstat 5 committee of the Statistics Department, 1987. Rothamsted Experimental Station: Genstat 5 Reference Manual.
- Heringa, J.W., J. Groenwold en D. Schoonderbeek, 1980. *An improved method for the isolation and the quantitative measurement of crop roots*. Neth. J. Agric. Sci. 28: 127-134.
- Houben, J.M.M.Th., 1974. *Wortelontwikkeling en bodemgesteldheid*. Bedrijfsontwikkeling, jaargang 5, nr. 2: 141-148.
- Hoekstra, C., J.N.B. Poelman, 1982. *Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland*. Rapport nr. 1582, blz. 47. Wageningen, Stiboka.
- Jones, C.A., 1983. *Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth*. Soil Science Society of America Journal 47-6: 1208-1211.
- Krey, K. de, 1975. *Anthropogene verdichtingen bij beekerd- moderpodzol- en vorstvaaggronden*. Interne mededeling nr. 33. Wageningen, Stiboka.
- Laat, P.C.A. de, 1992. *De invloed van bodemdichtheid op de prestaties van 10 mais-hybriden*. [S.I.]: 43 p [nl].

LAGO (*Landbouwkundige Aspecten van GrondwaterOnttrekking*), 1984. Utrecht, Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven, Werkgroeprapport Landbouwkundige Aspecten.

Larson, W.E., S.C. Gupta, W.B. Voorhees, 1986. *A model for predicting soil compaction*. Transactions volume V, X111 Congres of the International Society of Soil Science, Hamburg.

Newman, E.I., 1966. *Root and soil water relations*. In: E.W. Carson (ed) *The plant root and its environment*: 363-440.

Noordwijk M. van, 1983. *Functional interpretation of rootdensities in the field for nutrient and water uptake*. In: Boehm (ed) *Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung*. Int. Symposium Gumpenstein (1982): 207-226.

Noordwijk, M. van, J. Floris, A. de Jager, 1985. *Sampling schemes for estimating root density distribution in cropped fields*. In: *Netherlands journal of Agricultural science* nr. 33: 241-262.

Noordwijk, M. van, P. de Willigen, 1987. *Agricultural concepts of roots: from morphogenetic to functional equilibrium between root and shoot growth*. In: *Netherlands Journal of Agricultural science* nr. 35: 487-496.

Noordwijk, M. van, D. Schoonderbeek en M.J. Kooistra, 1993. *Root-soil contact of field-grown winter wheat*. *Geoderma* 56: 277-286.

Schothorst, C.J., J. Broekhuizen, 1987. In: *Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde onder redactie van W.P. Locher en H. de Bakker*. blz. 248.

Schuurman, J.J., M.A.J. Goedewagen, 1971. *Methods for the examination of root systems and roots*. Wageningen

Sibma, L., G.C. Ennik, 1988. *Ontwikkeling en groei van produktiegras onder Nederlandse omstandigheden*. Gewassenreeks Nr. 2. Wageningen, CABO.

Sluijs, P. van der, 1988. *De poriënindex: een karakteristiek voor vergelijking van de pakking van gronden*. Rapport nr. 2074, blz. 25. Wageningen, Stiboka.

Spek, Th., 1988. *Bodemverdichting onder grasland: een verkennend onderzoek naar de invloed van bodemverdichting op de bewortelingsintensiteit van een cultuurgrasland*. Doctoraalscriptie LU Wageningen, 129 blz.

Troughton, A., 1981. *Length of live of grass roots*. In: *Grass and forage science*. Vol. 36: 117-120.

Veen, B.W., M. van Noordwijk, P. de Willigen, F.R. Boone en M.J. Kooistra, 1992. *Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique. III Effects on shoot growth, nitrate and water uptake efficiency*. *Plant and Soil* 139: 131-138.

Vos, J. en J. Groenwold, 1986. *Root growth of potato crops on a marine clay soil*. Plant and soil 94: 17-33.

Voorhees, W.B., J.F. Johnson, G.W. Randall en W.W. Nelson, 1989. *Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction*. Agronomy journal 81-2: 294-303.

Voorhees, W.B., 1992. *Wheel-induced soil physical limitations to root growth*. Advances in soil science 19: 73-95.

Wiersum, L.K., 1957. *The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots*. In: Plant and Soil 9: 75-85.

Wit, N.M. de, 1988. *De invloed van verschillende bodemparameters op de indringingsweerstand van zandgrond*. ICW nota 1834. Wageningen.

Williams, T.E., 1968. *Root activity of perennial grass swards*. In: Root growth. Proceedings of the fifteenth Easter School in Agricultural Science. University of Nottingham. 270-278.

Willigen, P. de en M. van Noordwijk, 1984. *Mathematical models on diffusion of oxygen to and within plant roots, with special emphasis on effects of soil root contact: I Derivation of the models. II Applications*, Plant and Soil 77: 215-241.

Willigen, P. de en M. van Noordwijk, 1987. *Roots, plant production and nutrient use efficiency*. Thesis Landbouw Universiteit, Wageningen.

Wopereis, F.A., Th. Spek, D. Schoonderbeek and H. Everts, 1990. *Influence of soil compaction on rooting patterns and dry matter production of grassland on sandy soils*. In: Soil-Grassland-Animal Relationships. Proceedings of 13th General Meeting of the European Grassland Federation Vol. 1. Banska Bystrica. Czechoslovakia.

Wösten, J.H.M., M.H. Bannink, J. Beuving, 1987. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks*. Rapport nr. 1932 Stiboka, Wageningen. 75 blz.

# AANHANGSEL 1 Basisgegevens snede 1, 1990

Laag	Herhaling	Gloeiverlies	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
1,000	1,00	3,650	1,539	0,7612	41,47	16,2
2,000	1,00	4,153	1,386	0,9360	47,28	09,9
3,000	1,00	4,388	1,463	0,8144	44,38	06,9
4,000	1,00	2,665	1,725	0,6040	34,41	06,7
1,000	2,00	4,517	1,299	1,0463	50,60	13,4
2,000	2,00	4,074	1,485	0,8049	43,55	07,9
3,000	2,00	4,050	1,441	0,8649	45,21	08,3
4,000	2,00	3,296	1,594	0,7158	39,40	03,0
1,000	3,00	2,755	1,463	0,9242	44,38	22,3
2,000	3,00	2,517	1,550	0,8198	41,06	07,6
3,000	3,00	2,366	1,485	0,9218	43,55	07,9
4,000	3,00	2,580	1,550	0,8155	41,06	02,3
1,000	4,00	2,537	1,386	1,0606	47,28	19,7
2,000	4,00	2,792	1,517	0,8447	42,30	10,7
3,000	4,00	3,468	1,277	1,1691	51,43	07,4
4,000	4,00	2,882	1,485	0,8836	43,55	04,2
1,000	5,00	2,195	1,354	1,1477	48,53	13,2
2,000	5,00	4,153	1,365	0,9689	48,11	03,0
3,000	5,00	3,560	1,354	1,0302	48,53	04,9
4,000	5,00	1,954	1,561	0,8452	40,64	01,9
1,000	6,00	3,208	1,419	0,9550	46,04	11,7
2,000	6,00	3,899	1,507	0,7875	42,72	12,2
3,000	6,00	4,654	1,463	0,7986	44,38	04,9
4,000	6,00	2,542	1,605	0,7484	38,98	01,8
1,000	7,00	4,188	1,452	0,8412	44,79	13,6
2,000	7,00	3,757	1,430	0,8998	45,62	27,9
3,000	7,00	3,741	1,419	0,9165	46,04	08,6
4,000	7,00	3,475	1,430	0,9194	45,62	05,6
1,000	8,00	3,716	1,234	1,2289	53,09	12,8
2,000	8,00	3,762	1,408	0,9310	46,45	12,4
3,000	8,00	3,311	1,441	0,9152	45,21	19,4
4,000	8,00	4,758	1,376	0,9115	47,70	05,7
1,000	9,00	4,312	1,321	1,0259	49,77	23,7
2,000	9,00	5,839	1,255	1,0243	52,26	13,1
3,000	9,00	3,756	1,496	0,8103	43,13	19,6
4,000	9,00	2,333	1,594	0,7756	39,40	04,0
1,000	10,00	3,497	1,463	0,8713	44,38	29,8
2,000	10,00	3,788	1,496	0,8083	43,13	06,9
3,000	10,00	3,166	1,507	0,8340	42,72	03,8
4,000	10,00	2,710	1,572	0,7786	40,23	03,7
1,000	11,00	3,699	1,441	0,8882	45,21	16,6
2,000	11,00	3,783	1,386	0,9622	47,28	19,9
3,000	11,00	4,430	1,452	0,8262	44,79	09,3
4,000	11,00	3,768	1,419	0,9147	46,04	05,7
1,000	12,00	3,258	1,321	1,1096	49,77	15,8
2,000	12,00	4,088	1,452	0,8475	44,79	04,6
3,000	12,00	3,401	1,441	0,9089	45,21	03,3
4,000	12,00	2,392	1,419	1,0197	46,04	02,0
1,000	13,00	4,212	1,419	0,8847	46,04	13,2
2,000	13,00	3,393	1,419	0,9414	46,04	11,8
3,000	13,00	3,755	1,223	1,2465	53,51	04,2

VERVOLG AANHANGSEL 1 Basisgegevens snede 1, 1990

Laag	Herhaling	Gloeiverlies	Dichtheid	Poriëindex	Poriënvolume	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
4,000	13,00	3,648	1,365	1,0060	48,11	04,2
1,000	14,00	3,281	1,463	0,8861	44,38	19,8
2,000	14,00	4,194	1,517	0,7564	42,30	09,7
3,000	14,00	3,862	1,452	0,8621	44,79	04,1
4,000	14,00	3,435	1,441	0,9064	45,21	01,2
1,000	15,00	3,841	1,452	0,8634	44,79	12,8
2,000	15,00	5,640	1,223	1,0933	53,51	13,0
3,000	15,00	4,420	1,321	1,0180	49,77	06,2
4,000	15,00	2,578	1,376	1,0752	47,70	03,8
1,000	16,00	3,413	1,419	0,9399	46,04	26,9
2,000	16,00	3,325	1,485	0,8529	43,55	13,6
3,000	16,00	3,521	1,386	0,9815	47,28	06,8
4,000	16,00	3,455	1,376	1,0035	47,70	03,6
1,000	17,00	2,975	1,550	0,7893	41,06	17,3
2,000	17,00	3,099	1,528	0,8095	41,89	04,6
3,000	17,00	2,954	1,365	1,0613	48,11	05,2
4,000	17,00	2,230	1,517	0,8852	42,30	02,6
1,000	18,00	3,504	1,452	0,8861	44,79	19,4
2,000	18,00	4,660	1,485	0,7706	43,55	15,7
3,000	18,00	1,518	1,583	0,8481	39,81	06,0
4,000	18,00	3,770	1,397	0,9467	46,87	05,2
1,000	19,00	3,298	1,463	0,8850	44,38	24,3
2,000	19,00	2,675	1,572	0,7808	40,23	14,8
3,000	19,00	3,925	1,397	0,9358	46,87	13,7
4,000	19,00	2,449	1,572	0,7958	40,23	03,6
1,000	20,00	4,177	1,386	0,9344	47,28	31,6
2,000	20,00	4,207	1,463	0,8254	44,38	14,0
3,000	20,00	4,464	1,299	1,0503	50,60	07,4
4,000	20,00	3,664	1,397	0,9543	46,87	05,0
1,000	21,00	2,782	1,321	1,1515	49,77	16,2
2,000	21,00	4,660	1,496	0,7570	43,13	06,0
3,000	21,00	4,327	1,245	1,1557	52,68	06,4
4,000	21,00	3,761	1,408	0,9312	46,45	07,4
1,000	22,00	4,278	1,266	1,1206	51,85	32,7
2,000	22,00	4,460	1,135	1,3605	56,83	18,3
3,000	22,00	3,034	1,419	0,9682	46,04	06,5
4,000	22,00	1,964	1,681	0,6927	36,08	02,6
1,000	23,00	3,608	1,332	1,0622	49,36	20,6
2,000	23,00	3,480	1,397	0,9678	46,87	16,8
3,000	23,00	3,673	1,397	0,9537	46,87	06,9
4,000	23,00	2,408	1,419	1,0184	46,04	04,0
1,000	24,00	2,226	1,419	1,0339	46,04	20,3
2,000	24,00	2,327	1,474	0,9410	43,96	06,9
3,000	24,00	2,453	1,452	0,9638	44,79	06,7
4,000	24,00	2,726	1,648	0,6850	37,32	04,4
1,000	1,00	2,822	1,572	0,7713	40,23	22,0
2,000	1,00	3,578	1,528	0,7792	41,89	04,3
3,000	1,00	3,973	1,496	0,7969	43,13	03,2
4,000	1,00	3,505	1,539	0,7699	41,47	03,3
1,000	2,00	4,554	1,212	1,1975	53,92	15,8
2,000	2,00	4,402	1,419	0,8724	46,04	03,1

VERVOLG AANHANGSEL 1 Basisgegevens snede 1, 1990

Laag	Herhaling	Gloeiverlies	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
3,000	2,00	4,951	1,332	0,9636	49,36	03,7
4,000	2,00	5,633	1,452	0,7582	44,79	01,7
1,000	3,00	4,693	1,310	1,0157	50,19	09,4
2,000	3,00	5,633	1,452	0,7582	44,79	08,9
3,000	3,00	5,784	1,419	0,7913	46,04	06,0
4,000	3,00	3,645	1,376	0,9892	47,70	03,0
1,000	4,00	2,746	1,463	0,9249	44,38	12,4
2,000	4,00	2,640	1,561	0,7972	40,64	04,3
3,000	4,00	2,451	1,561	0,8099	40,64	02,9
4,000	4,00	2,731	1,659	0,6722	36,91	02,3
1,000	5,00	2,865	1,430	0,9646	45,62	15,0
2,000	5,00	1,872	1,583	0,8217	39,81	03,0
3,000	5,00	2,866	1,561	0,7823	40,64	04,8
4,000	5,00	2,859	1,681	0,6407	36,08	02,9
1,000	6,00	2,559	1,376	1,0768	47,70	19,6
2,000	6,00	3,435	1,528	0,7881	41,89	06,8
3,000	6,00	1,996	1,550	0,8570	41,06	03,6
4,000	6,00	2,425	1,605	0,7558	38,98	03,1
1,000	7,00	4,169	1,408	0,9031	46,45	22,0
2,000	7,00	5,259	1,452	0,7783	44,79	04,2
3,000	7,00	3,148	1,539	0,7922	41,47	02,1
4,000	7,00	3,830	1,539	0,7506	41,47	02,6
1,000	8,00	4,032	1,397	0,9283	46,87	20,3
2,000	8,00	3,444	1,572	0,7333	40,23	07,8
3,000	8,00	3,013	1,528	0,8152	41,89	03,1
4,000	8,00	2,264	1,550	0,8375	41,06	01,6
1,000	9,00	4,366	1,386	0,9215	47,28	30,3
2,000	9,00	4,758	1,386	0,8959	47,28	04,6
3,000	9,00	3,838	1,485	0,8195	43,55	06,4
4,000	9,00	4,106	1,474	0,8172	43,96	02,4
1,000	10,00	3,811	1,408	0,9276	46,45	09,7
2,000	10,00	3,443	1,550	0,7601	41,06	03,9
3,000	10,00	4,687	1,496	0,7555	43,13	02,1
4,000	10,00	3,775	1,539	0,7538	41,47	03,6
1,000	11,00	4,144	1,408	0,9048	46,45	15,7
2,000	11,00	5,344	1,376	0,8748	47,70	12,4
3,000	11,00	3,730	1,452	0,8708	44,79	10,8
4,000	11,00	3,367	1,463	0,8802	44,38	03,1
1,000	12,00	4,345	1,386	0,9229	47,28	22,8
2,000	12,00	3,585	1,583	0,7121	39,81	19,9
3,000	12,00	4,422	1,386	0,9178	47,28	04,6
4,000	12,00	2,857	1,517	0,8402	42,30	02,9
1,000	13,00	4,007	1,321	1,0490	49,77	16,4
2,000	13,00	5,977	1,463	0,7274	44,38	03,1
3,000	13,00	4,709	1,365	0,9307	48,11	02,2
4,000	13,00	2,473	1,550	0,8228	41,06	01,7
1,000	14,00	3,945	1,365	0,9839	48,11	22,1
2,000	14,00	3,880	1,485	0,8169	43,55	05,3
3,000	14,00	3,532	1,419	0,9314	46,04	03,7
4,000	14,00	3,638	1,463	0,8619	44,38	05,2
1,000	15,00	5,755	1,321	0,9281	49,77	16,6



VERVOLG AANHANGSEL 1 Basisgegevens snede 1, 1990

Laag	Herhaling	Gloeiverlies	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
2,000	15,00	5,062	1,386	0,8767	47,28	03,8
3,000	15,00	3,808	1,441	0,8809	45,21	02,1
4,000	15,00	2,738	1,452	0,9416	44,79	01,4
1,000	16,00	3,278	1,496	0,8412	43,13	17,1
2,000	16,00	4,441	1,365	0,9488	48,11	05,8
3,000	16,00	3,618	1,485	0,8335	43,55	03,4
4,000	16,00	2,164	1,572	0,8154	40,23	01,9
1,000	17,00	3,289	1,550	0,7695	41,06	20,4
2,000	17,00	3,406	1,539	0,7760	41,47	06,7
3,000	17,00	4,464	1,507	0,7546	42,72	05,1
4,000	17,00	2,490	1,539	0,8362	41,47	06,2
1,000	18,00	3,460	1,430	0,9205	45,62	20,4
2,000	18,00	3,228	1,485	0,8594	43,55	10,4
3,000	18,00	2,247	1,594	0,7814	39,40	03,4
4,000	18,00	2,604	1,714	0,6189	34,83	01,6
1,000	19,00	3,405	1,496	0,8328	43,13	10,1
2,000	19,00	2,994	1,507	0,8456	42,72	03,3
3,000	19,00	3,198	1,528	0,8031	41,89	02,9
4,000	19,00	1,536	1,517	0,9401	42,30	01,0
1,000	20,00	3,243	1,376	1,0201	47,70	25,6
2,000	20,00	3,352	1,648	0,6502	37,32	05,7
3,000	20,00	3,650	1,441	0,8916	45,21	02,2
4,000	20,00	1,783	1,627	0,7712	38,15	01,0
1,000	21,00	4,204	1,485	0,7971	43,55	20,2
2,000	21,00	4,150	1,507	0,7725	42,72	04,6
3,000	21,00	5,215	1,288	1,0140	51,02	02,8
4,000	21,00	3,226	1,365	1,0391	48,11	03,9
1,000	22,00	2,732	1,386	1,0440	47,28	19,3
2,000	22,00	2,669	1,648	0,6884	37,32	14,9
3,000	22,00	4,270	1,430	0,8658	45,62	03,6
4,000	22,00	4,692	1,539	0,7030	41,47	01,9
1,000	23,00	2,789	1,354	1,0938	48,53	20,2
2,000	23,00	3,663	1,441	0,8906	45,21	07,4
3,000	23,00	4,223	1,441	0,8538	45,21	07,8
4,000	23,00	3,478	1,539	0,7716	41,47	02,0
1,000	24,00	4,164	1,288	1,0917	51,02	12,1
2,000	24,00	4,883	1,386	0,8879	47,28	10,8
3,000	24,00	3,564	1,474	0,8518	43,96	01,8
4,000	24,00	2,367	1,714	0,6318	34,83	02,6
1,000	1,00	4,211	1,408	0,9004	46,45	23,5
2,000	1,00	4,974	1,474	0,7667	43,96	15,9
3,000	1,00	4,425	1,528	0,7302	41,89	05,6
4,000	1,00	2,425	1,474	0,9333	43,96	01,2
1,000	2,00	4,379	1,419	0,8740	46,04	17,4
2,000	2,00	4,410	1,528	0,7311	41,89	11,7
3,000	2,00	3,144	1,583	0,7379	39,81	09,6
4,000	2,00	2,968	1,670	0,6467	36,49	01,8
1,000	3,00	3,325	1,572	0,7403	40,23	21,6
2,000	3,00	3,195	1,572	0,7482	40,23	12,0
3,000	3,00	2,527	1,583	0,7767	39,81	06,0
4,000	3,00	2,087	1,692	0,6726	35,66	01,5

VERVOLG AANHANGSEL 1 Basisgegevens snede 1, 1990

Laag	Herhaling	Gloeiverlies	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
1,000	4,00	2,763	1,485	0,8921	43,55	13,5
2,000	4,00	2,908	1,605	0,7257	38,98	04,5
3,000	4,00	1,874	1,747	0,6239	33,58	03,8
4,000	4,00	1,541	1,670	0,7332	36,49	02,1
1,000	5,00	3,738	1,299	1,1073	50,60	19,3
2,000	5,00	2,765	1,627	0,7082	38,15	03,6
3,000	5,00	2,913	1,539	0,8074	41,47	02,7
4,000	5,00	2,983	1,648	0,6703	37,32	00,9
1,000	6,00	2,977	1,386	1,0239	47,28	18,3
2,000	6,00	2,211	1,638	0,7293	37,74	04,7
3,000	6,00	2,876	1,561	0,7817	40,64	02,6
4,000	6,00	2,734	1,583	0,7633	39,81	02,0
1,000	7,00	3,675	1,496	0,8154	43,13	24,2
2,000	7,00	4,523	1,485	0,7784	43,55	08,6
3,000	7,00	4,551	1,550	0,6978	41,06	04,5
4,000	7,00	2,822	1,594	0,7442	39,40	02,6
1,000	8,00	3,660	1,485	0,8308	43,55	15,8
2,000	8,00	5,288	1,496	0,7234	43,13	07,2
3,000	8,00	4,175	1,397	0,9185	46,87	03,2
4,000	8,00	3,746	1,550	0,7421	41,06	01,5
1,000	9,00	4,393	1,321	1,0200	49,77	22,4
2,000	9,00	4,666	1,550	0,6918	41,06	10,0
3,000	9,00	3,176	1,561	0,7628	40,64	01,9
4,000	9,00	2,285	1,703	0,6486	35,24	02,0
1,000	10,00	3,801	1,539	0,7523	41,47	18,2
2,000	10,00	3,890	1,561	0,7208	40,64	04,8
3,000	10,00	3,518	1,605	0,6904	38,98	05,7
4,000	10,00	2,960	1,572	0,7626	40,23	01,3
1,000	11,00	4,643	1,430	0,8425	45,62	32,9
2,000	11,00	4,234	1,572	0,6893	40,23	01,5
3,000	11,00	4,458	1,507	0,7549	42,72	02,1
4,000	11,00	2,867	1,572	0,7684	40,23	00,5
1,000	12,00	3,735	1,397	0,9492	46,87	11,2
2,000	12,00	3,865	1,561	0,7222	40,64	03,8
3,000	12,00	2,956	1,638	0,6843	37,74	07,1
4,000	12,00	2,389	1,659	0,6923	36,91	01,7
1,000	13,00	3,926	1,332	1,0373	49,36	13,0
2,000	13,00	5,724	1,419	0,7945	46,04	12,7
3,000	13,00	4,715	1,517	0,7275	42,30	02,0
4,000	13,00	3,600	1,583	0,7113	39,81	02,7
1,000	14,00	4,500	1,310	1,0298	50,19	10,7
2,000	14,00	4,668	1,539	0,7043	41,47	02,6
3,000	14,00	3,662	1,507	0,8020	42,72	03,4
4,000	14,00	2,455	1,605	0,7539	38,98	00,4
1,000	15,00	3,913	1,397	0,9365	46,87	09,2
2,000	15,00	4,740	1,550	0,6880	41,06	09,6
3,000	15,00	3,990	1,528	0,7547	41,89	03,0
4,000	15,00	4,023	1,496	0,7940	43,13	00,4
1,000	16,00	4,189	1,354	0,9831	48,53	14,2
2,000	16,00	3,913	1,496	0,8006	43,13	05,1
3,000	16,00	3,969	1,561	0,7164	40,64	04,3

VERVOLG AANHANGSEL 1 Basisgegevens snede 1, 1990

Laag	Herhaling	Gloeiverlies	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
4,000	16,00	4,768	1,550	0,6866	41,06	01,7
1,000	17,00	4,664	1,386	0,9019	47,28	22,6
2,000	17,00	4,957	1,550	0,6771	41,06	02,7
3,000	17,00	3,184	1,561	0,7623	40,64	02,6
4,000	17,00	5,000	1,496	0,7385	43,13	01,3
1,000	18,00	3,387	1,452	0,8942	44,79	14,4
2,000	18,00	3,308	1,572	0,7413	40,23	02,6
3,000	18,00	3,338	1,572	0,7395	40,23	01,6
4,000	18,00	2,822	1,528	0,8280	41,89	02,2
1,000	19,00	2,467	1,496	0,8984	43,13	14,6
2,000	19,00	4,106	1,572	0,6962	40,23	05,5
3,000	19,00	2,483	1,648	0,6994	37,32	01,9
4,000	19,00	3,694	1,627	0,6563	38,15	02,2
1,000	20,00	2,970	1,365	1,0600	48,11	21,0
2,000	20,00	2,026	1,736	0,6271	34,00	08,4
3,000	20,00	2,628	1,605	0,7429	38,98	03,5
4,000	20,00	3,888	1,528	0,7607	41,89	05,0
1,000	21,00	2,877	1,496	0,8687	43,13	16,6
2,000	21,00	3,347	1,692	0,6034	35,66	05,3
3,000	21,00	4,483	1,561	0,6888	40,64	04,9
4,000	21,00	3,314	1,648	0,6522	37,32	04,5
1,000	22,00	4,538	1,507	0,7504	42,72	13,6
2,000	22,00	4,990	1,463	0,7794	44,38	03,6
3,000	22,00	2,622	1,572	0,7843	40,23	01,2
4,000	22,00	3,535	1,419	0,9311	46,04	00,9
1,000	23,00	4,878	1,408	0,8578	46,45	13,0
2,000	23,00	3,793	1,496	0,8080	43,13	03,8
3,000	23,00	2,586	1,583	0,7728	39,81	02,3
4,000	23,00	3,858	1,594	0,6844	39,40	02,2
1,000	24,00	4,080	1,386	0,9411	47,28	19,8
2,000	24,00	5,022	1,550	0,6739	41,06	03,3
3,000	24,00	4,991	1,474	0,7657	43,96	02,1
4,000	24,00	3,479	1,496	0,8280	43,13	00,4

## AANHANGSEL 2 Basisgegevens snede 2, 1990

Horizont	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Residu	Quantimet	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
8a1	1,27	1,24	51,72	5,20	7,20	12,40
62a1	1,30	1,02	50,51	4,40	15,80	20,20
82a1	1,44	0,89	45,17	6,40	3,70	10,10
8a2	1,36	1,06	48,33	2,70	5,10	7,80
8b2	1,61	0,77	38,87	3,60	2,60	6,20
8c2	1,54	0,82	41,55	9,90	3,90	13,80
62a2	1,34	0,85	49,10	3,50	8,00	11,50
62b2	1,53	0,85	41,84	*	*	*
62c2	1,33	0,94	49,46	*	*	*
82a2	1,49	0,80	43,26	6,70	3,70	10,40
82b2	1,44	0,89	45,34	3,30	2,20	5,50
82c2	1,57	0,81	40,38	*	*	*
8a3	1,45	0,97	45,01	3,40	4,50	7,90
8b3	1,62	0,72	38,24	4,20	2,80	7,00
8c3	1,51	0,83	42,58	2,70	1,80	4,50
62a3	1,36	0,94	48,15	2,30	3,20	5,50
62b3	1,40	0,90	46,74	*	*	*
62c3	1,17	1,18	55,67	*	*	*
82a3	1,43	0,90	45,59	2,40	1,80	4,20
82b3	1,48	0,85	43,88	5,60	2,20	7,80
82c3	1,32	0,91	49,68	9,60	2,30	11,90
8a4	1,45	0,94	44,90	3,50	2,90	6,40
8b4	1,55	0,83	41,23	2,20	0,60	2,80
8c4	1,53	0,84	41,83	2,00	1,60	3,60
62a4	1,54	0,82	41,27	3,30	4,10	7,40
62b4	1,61	0,74	38,96	*	*	*
62c4	1,37	0,95	47,74	*	*	*
82a4	1,43	0,88	45,46	3,00	2,50	5,50
82b4	1,44	0,94	45,12	5,10	1,90	7,00
82c4	1,45	0,85	44,80	6,00	1,00	7,00
1d1	1,47	0,89	44,20	3,20	16,40	19,60
73d1	1,33	0,96	49,55	12,00	5,60	17,60
76d1	1,45	0,88	44,91	12,10	11,00	23,10
1d2	1,51	0,82	42,46	4,00	6,30	10,30
1e2	1,46	0,87	44,38	*	*	*
1f2	1,45	0,79	44,88	*	*	*
73d2	1,44	0,95	45,40	2,60	2,20	4,80
73e2	1,53	0,82	41,96	6,70	2,60	9,30
73f2	1,35	0,99	48,54	4,90	4,20	9,10
76d2	1,38	0,80	47,68	9,40	3,60	13,00
76e2	1,43	0,85	45,49	4,60	2,60	7,20
76f2	1,41	0,89	46,43	6,10	2,80	8,90
1d3	1,55	0,84	40,98	2,20	2,30	4,50
1e3	1,52	0,84	42,39	*	*	*
1f3	1,43	0,91	45,61	*	*	*

VERVOLG AANHANGSEL 2 Basisgegevens snede 2, 1990

Horizont	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Residu	Quantimet	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
73d3	1,36	0,97	48,44	2,90	1,60	4,50
73e3	1,52	0,80	42,07	5,40	1,30	6,70
73f3	1,36	0,85	48,18	5,70	2,80	8,50
76d3	1,30	0,87	50,68	5,40	2,40	7,80
76e3	1,35	0,91	48,66	7,10	1,30	8,40
76f3	1,38	0,97	47,43	6,80	5,70	12,50
1d4	1,55	0,81	40,98	1,90	2,30	4,20
1e4	1,60	0,76	39,10	*	*	*
1f4	1,54	0,77	41,43	*	*	*
73d4	1,34	1,04	49,17	8,80	1,40	10,20
73e4	1,31	1,04	50,17	2,70	0,60	3,30
73f4	1,25	0,97	52,56	1,10	1,10	2,20
76d4	1,55	0,67	41,09	6,20	2,10	8,30
76e4	1,33	0,99	49,56	10,60	2,00	12,60
76f4	1,41	0,90	46,26	1,10	2,50	3,60
14a1	1,07	1,73	59,46	4,20	10,00	14,20
29a1	1,32	1,08	49,99	5,30	18,00	23,30
32a1	1,21	1,22	53,88	4,50	19,60	24,10
70a1	1,28	1,00	51,24	11,40	16,90	28,30
95a1	1,38	0,94	47,58	1,90	12,10	14,00
14a2	1,54	0,79	41,53	4,50	1,70	6,20
14b2	1,58	0,77	40,03	6,30	3,60	9,90
14c2	1,46	0,86	44,68	2,30	3,10	5,40
29a2	1,43	0,85	45,68	4,60	6,80	11,40
29b2	1,48	0,88	43,62	*	*	*
29c2	1,41	0,86	46,24	*	*	*
32a2	1,56	0,72	40,64	3,30	8,30	11,60
32b2	1,31	0,97	50,30	*	*	*
32c2	1,42	0,93	46,09	*	*	*
70a2	1,53	0,77	41,70	5,80	5,90	11,70
70b2	1,61	0,67	38,96	*	*	*
70c2	1,49	0,77	43,44	*	*	*
95a2	1,44	0,86	45,27	1,60	2,80	4,40
95b2	1,37	0,83	48,09	12,10	3,40	15,50
95c2	1,52	0,74	42,33	8,10	1,30	9,40
14a3	1,57	0,76	40,27	2,30	1,00	3,30
14b3	1,52	0,80	42,07	3,00	1,90	4,90
14c3	1,51	0,83	42,67	5,00	3,10	8,10
29a3	1,49	0,79	43,26	2,00	3,30	5,30
29b3	1,59	0,71	39,56	*	*	*
29c3	1,63	0,61	37,93	*	*	*
32a3	1,46	0,86	44,60	2,30	7,10	9,40
32b3	1,48	0,83	43,67	*	*	*
32c3	1,43	1,05	45,79	*	*	*
70a3	1,45	0,86	45,05	3,80	3,10	6,90
70b3	1,48	0,73	43,85	*	*	*
70c3	1,54	0,80	41,44	*	*	*

VERVOLG AANHANGSEL 2 Basisgegevens snede 2, 1990

Horizont	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Residu	Quantimet	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
95a3	1,31	1,01	50,12	5,20	2,10	7,30
95b3	1,49	0,76	43,41	2,00	1,80	3,80
95c3	1,41	0,85	46,40	8,20	2,30	10,50
14a4	1,55	0,84	41,16	2,20	1,00	3,20
14b4	1,57	0,82	40,32	6,00	2,00	8,00
14c4	1,60	0,82	39,32	1,30	0,10	1,40
29a4	1,38	0,99	47,39	2,70	1,90	4,60
29b4	1,60	0,78	39,00	*	*	*
29c4	1,35	1,04	48,58	*	*	*
32a4	1,56	0,80	40,60	1,90	3,40	5,30
32b4	1,64	0,66	37,74	*	*	*
32c4	1,62	0,63	38,45	*	*	*
70a4	1,47	0,77	44,28	2,00	1,30	3,30
70b4	1,41	0,94	46,35	*	*	*
70c4	1,51	0,88	42,64	*	*	*
95a4	1,33	1,00	49,52	3,10	1,80	4,90
95b4	1,35	1,03	48,58	4,30	1,60	5,90
95c4	1,59	0,74	39,73	4,30	0,80	5,10
3d1	1,58	0,66	39,93	4,50	11,00	15,50
46d1	1,29	1,12	50,89	9,30	6,20	15,50
47d1	1,34	1,01	48,89	5,60	14,70	20,30
75d1	1,40	1,01	46,89	2,50	6,30	8,80
79d1	1,38	1,01	47,71	5,70	6,60	12,30
3d2	1,47	0,78	44,30	2,70	2,60	5,30
3e2	1,43	0,82	45,77	4,70	2,70	7,40
3f2	1,61	0,73	38,78	2,20	3,90	6,10
46d2	1,52	0,76	42,08	7,30	1,40	8,70
46e2	1,56	0,81	40,84	8,00	4,40	12,40
46f2	1,51	0,80	42,55	5,60	2,10	7,70
47d2	1,61	0,70	38,90	8,90	2,40	11,30
47e2	1,46	0,84	44,60	4,40	1,50	5,90
47f2	1,62	0,68	38,49	9,40	2,80	12,20
75d2	1,54	0,69	41,40	2,40	4,30	6,70
75e2	1,51	0,84	42,41	3,50	3,20	6,70
75f2	1,66	0,63	36,76	7,20	3,40	10,60
79d2	1,45	0,82	44,95	6,60	7,30	13,90
79e2	1,46	0,72	44,44	12,30	3,90	16,20
79f2	1,53	0,73	41,75	5,90	3,50	9,40
3d3	1,50	0,80	42,94	5,30	2,70	8,00
3e3	1,39	0,89	47,07	4,20	4,10	8,30
3f3	1,54	0,84	41,40	3,10	3,90	7,00
46d3	1,50	0,86	43,08	7,90	1,50	9,40
46e3	1,58	0,75	39,81	13,00	2,70	15,70
46f3	1,58	0,81	39,75	3,10	1,70	4,80
47d3	1,50	0,84	42,91	4,90	1,50	6,40
47e3	1,57	0,72	40,19	2,80	2,30	5,10
47f3	1,47	0,92	44,06	8,30	1,20	9,50
75d3	1,49	0,93	43,44	1,00	2,90	3,90

VERVOLG AANHANGSEL 2 Basisgegevens snede 2, 1990

Horizont	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Residu	Quantimet	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
75e3	1,45	0,90	44,85	6,50	2,60	9,10
75f3	1,50	0,88	42,87	11,70	1,50	13,20
79d3	1,40	0,85	46,66	6,00	3,50	9,50
79e3	1,35	0,94	48,81	3,40	4,70	8,10
79f3	1,52	0,76	42,22	2,40	3,70	6,10
3d4	1,34	1,06	49,06	3,90	1,70	5,60
3e4	1,40	0,90	46,64	2,50	3,50	6,00
3f4	1,57	0,69	40,49	3,00	2,80	5,80
46d4	1,49	0,88	43,45	6,90	2,70	9,60
46e4	1,55	0,82	40,95	7,70	4,10	11,80
46f4	1,53	0,86	41,89	3,60	1,20	4,80
47d4	1,40	0,96	46,89	3,10	1,70	4,80
47e4	1,67	0,69	36,36	2,20	1,20	3,40
47f4	1,46	0,90	44,56	4,80	2,30	7,10
75d4	1,63	0,80	37,95	1,00	1,30	2,30
75e4	1,73	0,66	34,03	5,30	2,40	7,70
75f4	1,58	0,78	40,09	9,50	2,40	11,90
79d4	1,36	0,98	48,30	2,30	1,80	4,10
79e4	1,34	0,97	49,07	1,00	2,90	3,90
79f4	1,36	0,94	48,33	1,80	2,10	3,90
12a1	1,22	1,39	53,77	4,60	9,80	14,40
38a1	1,19	1,25	54,84	8,00	22,50	30,50
52a1	1,31	1,02	50,15	6,10	8,80	14,90
97a1	1,35	1,08	48,82	6,20	11,00	17,20
12a2	1,57	0,69	40,24	3,50	6,10	9,60
12b2	1,62	0,71	38,30	4,00	1,70	5,70
12c2	1,65	0,71	37,19	3,40	4,90	8,30
38a2	1,41	0,87	46,27	5,60	6,30	11,90
38b2	1,60	0,62	39,26	*	*	*
38c2	1,44	0,81	45,10	*	*	*
52a2	1,62	0,67	38,39	2,70	3,00	5,70
52b2	1,55	0,76	40,90	4,70	2,90	7,60
52c2	1,48	0,71	43,79	6,60	3,60	10,20
97a2	1,61	0,67	38,83	6,20	1,80	8,00
97b2	1,64	0,71	37,64	1,20	3,80	5,00
97c2	1,64	0,63	37,74	1,00	3,30	4,30
12a3	1,51	0,80	42,74	7,90	4,50	12,40
12b3	1,64	0,68	37,76	7,70	7,20	14,90
12c3	1,54	0,72	41,58	2,00	4,30	6,30
38a3	1,48	0,78	43,81	5,40	4,60	10,00
38b3	1,49	0,73	43,46	*	*	*
38c3	1,45	0,76	44,92	*	*	*
52a3	1,49	0,72	43,20	1,90	1,70	3,60
52b3	1,57	0,68	40,14	3,00	2,40	5,40
52c3	1,60	0,70	39,13	3,70	2,20	5,90
97a3	1,68	0,63	36,27	10,30	2,60	12,90
97b3	1,59	0,69	39,71	5,20	9,90	15,10
97c3	1,47	0,77	44,02	1,40	1,10	2,50

VERVOLG AANHANGSEL 2 Basisgegevens snede 2, 1990

Horizont	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Residu	Quantimet	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
12a4	1,65	0,68	37,42	3,50	2,60	6,10
12b4	1,63	0,67	37,86	1,20	1,10	2,30
12c4	1,62	0,71	38,30	1,60	1,80	3,40
38a4	1,64	0,71	37,76	3,30	2,00	5,30
38b4	1,50	0,78	43,02	*	*	*
38c4	1,41	0,85	46,32	*	*	*
52a4	1,48	0,81	43,67	1,80	1,40	3,20
52b4	1,59	0,81	39,50	3,90	1,50	5,40
52c4	1,48	0,78	43,84	2,80	1,90	4,70
97a4	1,59	0,79	39,47	2,00	1,50	3,50
97b4	1,51	0,80	42,46	1,60	2,20	3,80
97c4	1,59	0,95	39,65	2,80	1,60	4,40
2d1	1,52	0,81	42,37	6,90	21,30	28,20
49d1	1,46	0,86	44,59	5,10	10,40	15,50
71d1	1,36	0,90	48,16	10,90	7,20	18,10
80d1	1,34	1,05	49,05	4,90	12,10	17,00
2d2	1,59	0,73	39,65	6,90	21,30	28,20
2e2	1,55	0,68	40,98	*	*	*
2f2	1,56	0,70	40,83	*	*	*
49d2	1,60	0,69	39,07	4,70	3,10	7,80
49e2	1,63	0,66	38,12	5,30	4,60	9,90
49f2	1,61	0,65	38,93	6,80	3,10	9,90
71d2	1,49	0,85	43,51	6,60	4,00	10,60
71e2	1,60	0,63	39,13	10,40	6,30	16,70
71f2	1,49	0,75	43,41	7,10	1,80	8,90
80d2	1,59	0,68	39,58	7,30	3,10	10,40
80e2	1,56	0,71	40,66	7,10	4,70	11,80
80f2	1,74	0,60	33,77	4,00	2,20	6,20
2d3	1,66	0,67	36,76	1,30	0,80	2,10
2e3	1,60	0,72	39,05	*	*	*
2f3	1,62	0,69	38,42	*	*	*
49d3	1,54	0,76	41,39	3,80	4,00	7,80
49e3	1,59	0,74	39,73	7,30	3,50	10,80
49f3	1,50	0,76	43,05	2,20	2,50	4,70
71d3	1,47	0,79	43,95	10,70	3,70	14,40
71e3	1,46	0,85	44,30	11,50	4,00	15,50
71f3	1,55	0,76	41,16	3,10	4,10	7,20
80d3	1,50	0,66	42,87	14,60	4,70	19,30
80e3	1,55	0,73	41,08	4,30	1,70	6,00
80f3	1,64	0,75	37,80	1,30	1,60	2,90
2d4	1,64	0,73	37,79	*	*	*
2e4	1,67	0,68	36,56	*	*	*
2f4	1,63	0,71	38,06	*	*	*
49d4	1,63	0,70	37,87	3,10	1,00	4,10
49e4	1,59	0,78	39,65	13,60	1,40	15,00
49f4	1,47	0,77	44,19	8,00	4,00	12,00
71d4	1,56	0,71	40,86	3,40	3,70	7,10



VERVOLG AANHANGSEL 2 Basisgegevens snede 2, 1990

Horizont	Dichtheid	Poriënindex	Poriënvolume	Residu	Quantimet	Wortel- lengte/cm <sup>3</sup>
71e4	1,38	0,84	47,59	3,90	2,60	6,50
71f4	1,64	0,65	37,62	13,10	0,10	13,20
80d4	1,33	0,96	49,49	7,10	1,80	8,90
80e4	1,51	0,76	42,58	5,90	3,80	9,70
80f4	1,72	0,70	34,71	0,70	0,90	1,60

# AANHANGSEL 3 Basisgegevens snede 5, 1990

Nummer	Gloeiver- lies %	Vocht %	Dichtheid	Poriën- index	Line- intersect cm/cm <sup>3</sup>	Quantimet cm/cm <sup>3</sup>	Spoel- verl. %
8,1	3,3	11,9	143,5	0,93	8,9	7,7	41,0
37,1	4,1	10,7	116,2	1,34	8,1	*	56,0
62,1	4,9	10,2	123,7	1,12	5,5	6,9	66,4
82,1	3,5	9,3	130,2	1,12	8,8	2,6	30,0
8,1	3,1	12,2	139,7	1,00	10,2	*	*
37,1	3,9	12,4	131,5	1,07	9,6	*	*
62,1	5,0	7,4	99,2	1,65	9,5	*	*
82,1	2,9	10,3	142,9	0,96	10,0	*	*
8,1	3,2	9,2	134,2	1,08	8,7	*	*
37,1	4,5	13,9	116,2	1,30	6,8	*	*
62,1	4,0	10,0	128,4	1,11	10,7	*	*
82,1	4,0	9,0	147,2	0,83	11,5	*	*
8,2	3,5	13,8	149,5	0,83	2,6	2,9	64,0
37,2	4,6	6,4	139,3	0,90	6,3	*	47,0
62,2	4,6	12,8	141,1	0,87	5,9	2,4	47,4
82,2	2,9	11,6	160,6	0,72	4,1	3,9	62,1
8,2	3,1	13,3	149,3	0,86	4,3	3,1	*
37,2	5,0	5,3	131,4	0,99	7,8	*	*
62,2	4,4	12,6	141,1	0,89	3,6	1,1	*
82,2	2,6	11,2	153,4	0,83	6,1	0,7	*
8,2	3,3	11,4	135,3	1,05	5,0	1,2	*
37,2	4,2	15,7	143,9	0,86	3,2	*	*
62,2	3,9	15,0	150,6	0,79	2,1	4,1	*
82,2	3,3	12,8	151,4	0,81	3,9	1,4	*
8,3	3,5	10,9	123,7	1,24	0,4	1,8	86,0
37,3	2,5	10,2	163,7	0,71	2,1	*	75,0
62,3	5,1	9,7	127,1	1,05	3,9	1,4	53,9
82,3	3,4	11,0	125,1	1,23	4,5	0,9	64,5
8,3	3,8	9,1	96,6	1,88	2,9	3,9	*
37,3	4,0	14,1	131,1	1,07	3,1	*	*
62,3	3,9	9,8	117,8	1,32	2,1	0,8	*
82,3	3,3	14,0	142,8	0,93	3,6	1,1	*
8,3	2,2	10,7	154,8	0,84	3,4	0,3	*
37,3	3,9	12,0	136,2	0,99	1,0	*	*
62,3	3,7	15,1	148,6	0,83	1,8	3,2	*
2,3	3,8	9,6	137,7	0,98	6,0	0,9	*
8,4	2,9	11,6	146,4	0,91	0,3	1,6	85,0
37,4	2,7	13,8	147,7	0,91	1,0	*	62,0
62,4	2,8	7,6	160,9	0,73	2,2	2,6	71,4
82,4	3,7	9,3	134,6	1,04	3,9	2,1	65,2
8,4	3,2	13,0	142,8	0,94	0,7	0,7	*
37,4	2,9	11,2	150,4	0,86	3,3	*	*
62,4	1,4	10,0	154,5	0,91	1,8	0,6	*
82,4	2,4	8,9	157,3	0,80	1,2	0,4	*
8,4	2,2	13,4	167,1	0,69	2,4	0,8	*
37,4	3,0	7,6	142,8	0,96	1,0	*	*
62,4	3,7	15,6	140,4	0,94	0,8	1,4	*
82,4	3,2	13,9	142,1	0,96	2,5	0,5	*
1,1	2,8	10,4	147,9	0,90	7,2	7,1	67,0
48,1	4,3	9,9	168,6	0,57	14,0	16,7	33,0

VERVOLG AANHANGSEL 3 Basisgegevens snede 5, 1990

Nummer	Gloeiver- lies %	Vocht %	Dichtheid	Poriën- index	Line- intersect cm/cm <sup>3</sup>	Quantimet cm/cm <sup>3</sup>	Spoel- verl.%
73,1	4,4	17,1	154,9	0,71	7,2	6,7	58,0
76,1	4,7	16,0	149,2	0,76	8,6	7,9	28,6
1,1	3,0	10,1	137,4	1,04	10,2	*	*
48,1	4,0	13,0	126,5	1,14	9,1	*	*
73,1	4,5	15,2	123,3	1,16	5,5	*	*
76,1	5,1	15,2	138,7	0,88	4,0	*	*
1,1	2,5	10,3	138,6	1,06	4,5	*	*
48,1	4,1	12,7	133,3	1,02	12,7	*	*
73,1	4,5	14,3	124,3	1,15	10,9	*	*
76,1	4,5	16,1	130,3	1,04	15,1	*	*
1,2	3,4	14,3	151,9	0,80	7,8	4,2	56,0
48,2	4,7	14,0	135,8	0,94	3,5	3,5	62,0
73,2	4,4	16,4	143,7	0,85	3,2	2,9	59,0
76,2	2,9	9,1	157,2	0,77	3,3	3,1	66,0
1,2	2,6	13,3	159,8	0,75	4,0	1,3	*
48,2	3,2	14,3	154,3	0,78	1,4	2,0	*
73,2	4,0	16,4	151,1	0,78	4,5	1,0	*
76,2	5,6	16,6	143,5	0,79	3,9	2,8	*
1,2	3,5	16,4	165,3	0,64	3,8	8,4	*
48,2	3,6	15,1	148,8	0,83	3,1	2,1	*
73,2	4,4	16,1	143,4	0,86	3,1	4,9	*
76,2	3,9	14,7	151,2	0,78	5,4	2,1	*
1,3	4,0	10,9	147,7	0,82	1,8	1,3	69,0
48,3	3,7	8,6	142,1	0,92	4,0	1,8	51,0
73,3	2,7	12,2	152,3	0,85	1,5	1,4	78,0
76,3	3,2	7,7	141,8	0,96	2,9	1,0	57,4
1,3	2,3	13,2	167,5	0,67	1,6	2,2	*
48,3	4,7	12,3	133,9	0,97	2,3	0,5	*
73,3	4,4	13,8	136,8	0,95	2,1	1,3	*
76,3	5,5	10,6	122,8	1,09	4,1	1,5	*
1,3	3,2	9,8	116,9	1,41	2,9	1,5	*
48,3	3,6	13,2	143,9	0,90	3,0	2,3	*
73,3	3,5	11,9	143,9	0,91	3,2	2,8	*
76,3	3,8	14,2	153,7	0,76	4,2	2,3	*
1,4	2,8	14,8	159,9	0,74	1,1	1,0	72,0
48,4	2,8	13,9	151,4	0,85	1,8	0,8	62,0
73,4	2,3	26,3	141,4	1,04	1,8	1,0	58,0
76,4	5,0	19,0	140,6	0,86	2,4	0,6	60,0
1,4	1,6	12,9	170,4	0,68	0,3	1,0	*
48,4	4,6	15,1	131,4	1,01	1,9	0,3	*
73,4	3,1	14,1	140,5	0,98	2,9	0,8	*
76,4	5,0	11,6	142,4	0,83	3,2	0,9	*
1,4	3,7	16,0	133,1	1,06	2,3	0,7	*
48,4	2,9	13,3	151,2	0,85	1,3	1,4	*
73,4	2,0	8,8	150,6	0,92	1,5	0,6	*
76,4	4,7	11,8	143,3	0,84	3,9	1,3	*
14,1	2,7	10,1	143,1	0,98	6,2	9,2	59,4
9,1	4,5	13,3	115,6	1,31	10,9	11,8	38,9
65,1	4,8	4,7	131,4	1,00	16,5	9,8	33,2
86,1	3,2	7,9	107,2	1,64	18,6	11,6	22,8

VERVOLG AANHANGSEL 3 Basisgegevens snede 5, 1990

Nummer	Gloeiverlies %	Vocht %	Dichtheid	Poriën-index	Line-intersect cm/cm <sup>3</sup>	Quantimet cm/cm <sup>3</sup>	Spoelverl.%
14,1	2,4	8,0	147,8	0,93	12,8	*	*
29,1	3,6	13,1	146,2	0,87	12,4	*	*
65,1	4,9	11,2	121,2	1,17	12,8	*	31,2
86,1	3,0	5,0	108,2	1,65	9,5	*	33,2
14,1	2,0	7,0	143,2	1,03	10,5	*	*
9,1	3,6	13,9	143,7	0,90	9,1	*	*
65,1	3,4	7,1	146,4	0,88	13,6	*	44,2
86,1	4,1	13,2	143,6	0,87	18,8	*	28,9
14,2	3,2	13,3	152,3	0,81	3,9	0,7	58,1
29,2	3,8	15,1	149,6	0,81	6,0	6,7	51,7
65,2	4,2	14,2	154,8	0,72	3,4	2,3	45,8
86,2	3,7	13,7	151,9	0,79	5,4	2,9	46,6
14,2	2,2	10,4	165,6	0,70	6,2	1,2	*
29,2	3,2	13,1	146,2	0,89	6,2	7,8	*
65,2	5,7	19,2	140,5	0,82	6,2	1,8	42,4
86,2	5,0	14,0	146,6	0,78	3,0	4,2	60,8
14,2	3,4	14,2	148,7	0,84	5,5	2,9	*
29,2	4,6	12,3	130,2	1,03	3,8	2,6	*
65,2	4,5	17,9	144,9	0,83	5,7	6,5	45,5
86,2	4,8	17,3	145,9	0,80	3,8	3,6	36,8
14,3	3,8	10,6	111,7	1,47	4,8	0,9	55,9
29,3	3,4	15,7	135,2	1,04	2,7	0,8	53,6
65,3	6,2	17,2	141,2	0,78	2,1	1,3	56,2
86,3	3,4	2,6	152,5	0,80	3,5	0,9	49,7
14,3	2,6	12,3	141,1	1,01	3,0	0,7	*
29,3	3,1	16,2	162,2	0,70	2,3	2,3	*
65,3	5,0	15,3	144,9	0,80	3,7	2,8	40,0
86,3	2,9	13,6	156,1	0,78	2,7	1,1	62,5
14,3	3,8	11,9	121,1	1,26	3,2	2,7	*
29,3	2,6	14,9	173,4	0,59	1,0	0,4	*
65,3	3,5	11,8	154,7	0,76	4,1	2,1	48,1
86,3	3,4	17,2	146,3	0,88	4,2	0,5	52,6
14,4	2,1	8,7	181,3	0,54	3,5	0,3	37,1
29,4	3,1	16,6	157,4	0,75	1,7	0,4	62,9
65,4	3,6	13,7	153,3	0,77	2,0	0,5	70,4
86,4	2,5	13,3	150,1	0,89	1,8	0,9	55,0
14,4	2,8	12,3	135,3	1,10	1,7	0,2	*
29,4	4,7	24,3	151,7	0,73	2,9	1,7	*
65,4	3,2	9,4	149,4	0,85	2,5	1,0	47,8
86,4	2,0	0,2	161,9	0,76	5,9	1,4	45,6
14,4	2,5	11,8	158,7	0,77	2,8	0,8	*
29,4	2,9	10,3	140,4	1,00	0,9	0,9	*
65,4	3,8	11,8	141,2	0,92	4,1	0,8	46,6
86,4	3,9	17,9	138,2	0,96	2,0	2,3	47,7
3,1	4,2	18,3	147,8	0,8	5,6	8,0	53,9
46,1	4,0	12,7	147,4	0,8	7,2	9,8	49,3
74,1	3,6	12,3	148,1	0,8	9,3	17,1	36,1
77,1	4,3	8,7	119,7	1,2	8,5	10,9	48,2
3,1	4,1	18,6	157,8	0,7	6,8	*	*
46,1	3,5	14,8	171,1	0,6	7,3	*	39,2

VERVOLG AANHANGSEL 3 Basisgegevens snede 5, 1990

Nummer	Gloeiver- lies %	Vocht %	Dichtheid	Porien- index	Line- intersect cm/cm <sup>3</sup>	Quantimet cm/cm <sup>3</sup>	Spoel- verl. %
74,1	3,6	3,6	144,9	0,9	8,1	*	41,0
77,1	2,6	9,3	142,1	1,0	6,7	*	43,3
3,1	3,6	16,1	166,8	0,6	4,6	*	*
46,1	3,5	10,2	135,3	1,0	9,8	*	43,0
74,1	3,3	8,1	129,2	1,2	8,1	*	51,3
77,1	2,8	10,2	165,4	0,7	10,7	*	32,5
3,2	5,0	19,0	169,3	0,5	3,3	0,9	54,8
46,2	3,7	13,4	148,3	0,8	5,4	1,1	46,6
74,2	3,9	13,2	151,7	0,8	7,6	4,7	49,5
77,2	4,6	12,4	143,4	0,8	6,2	8,8	50,0
3,2	4,6	7,4	135,1	1,0	3,3	0,9	*
46,2	2,8	12,3	148,3	0,9	5,4	1,1	60,0
74,2	3,3	9,9	159,1	0,7	7,6	4,7	53,0
77,2	3,5	1,8	167,6	0,6	6,2	8,8	43,0
3,2	4,3	16,8	148,7	0,8	3,6	6,3	*
46,2	2,9	14,6	181,8	0,5	2,7	3,3	38,6
74,2	3,3	13,0	154,8	0,8	3,0	1,7	55,3
77,2	3,7	9,4	153,3	0,8	4,9	2,9	57,8
3,3	3,0	12,2	125,8	1,2	2,4	0,5	63,5
46,3	3,5	12,8	145,8	0,9	4,2	1,0	59,4
74,3	3,9	10,8	140,7	0,9	6,0	11,3	43,8
77,3	4,3	11,3	145,5	0,8	3,6	1,5	60,8
3,3	4,2	19,8	142,2	0,9	0,8	2,5	*
46,3	3,2	13,6	147,2	0,9	2,8	3,2	63,6
74,3	4,5	13,9	135,7	1,0	3,5	1,5	49,7
77,3	3,4	12,7	151,1	0,8	5,4	3,6	56,3
3,3	3,5	13,7	130,5	1,1	2,7	2,3	*
46,3	3,8	11,8	126,6	1,2	2,8	2,3	46,7
74,3	3,4	13,4	156,9	0,7	4,9	1,9	42,9
77,3	2,3	8,0	169,4	0,7	4,2	2,0	45,5
3,4	3,2	20,3	157,2	0,7	0,3	0,3	87,8
46,4	3,7	10,1	139,9	1,0	4,3	0,5	51,5
74,4	2,9	2,2	152,9	0,8	3,6	1,3	46,1
77,4	2,6	9,3	143,6	1,0	2,4	0,5	54,3
3,4	4,2	20,4	135,7	1,0	0,6	2,3	*
46,4	2,4	16,6	159,5	0,8	1,2	3,0	47,7
74,4	3,1	14,3	151,8	0,8	3,1	1,1	60,3
77,4	3,0	9,9	152,6	0,8	3,7	0,6	61,0
3,4	3,7	14,3	143,6	0,9	2,0	1,0	*
46,4	2,7	13,3	163,9	0,7	1,7	1,1	45,0
74,4	3,0	10,1	151,9	0,8	6,0	1,0	42,5
77,4	1,5	11,6	158,1	0,8	1,1	1,5	47,4
22,1	3,3	8,7	142,2	0,95	11,3	12,4	40,2
38,1	5,1	17,4	137,4	0,90	9,8	11,7	36,9
56,1	5,4	12,8	133,1	0,94	14,1	12,2	28,3
97,1	3,8	10,3	150,3	0,80	9,5	8,4	36,1
22,1	2,9	10,9	156,6	0,77	11,5	*	35,4
38,1	6,3	16,8	122,4	1,05	9,5	*	42,4
56,1	4,1	11,3	132,9	1,03	12,2	*	27,5
97,1	3,9	13,1	136,9	0,98	5,9	*	35,4

VERVOLG AANHANGSEL 3 Basisgegevens snede 5, 1990

Nummer	Gloeiver- lies %	Vocht %	Dichtheid	Poriën- index	Line- intersect cm\cm <sup>3</sup>	Quantimet cm/cm <sup>3</sup>	Spoel- verl.%
22,1	3,1	10,9	158,6	0,74	6,7	*	50,4
38,1	5,4	14,2	116,4	1,22	11,5	*	43,1
56,1	4,9	12,9	130,3	1,01	9,8	*	36,1
97,1	4,0	9,8	132,9	1,04	6,2	*	56,5
22,2	3,8	12,9	154,2	0,75	6,4	5,0	47,1
38,2	6,1	20,1	147,4	0,72	4,9	3,7	45,3
56,2	5,0	17,3	152,1	0,72	5,9	3,0	40,7
97,2	3,8	13,0	150,4	0,79	4,5	1,6	53,7
22,2	3,0	12,0	137,3	1,05	5,5	2,3	41,9
38,2	4,7	18,1	156,3	0,68	3,9	4,1	57,4
56,2	4,4	16,1	149,7	0,77	5,9	3,5	48,9
97,2	2,8	3,4	163,9	0,69	2,5	2,1	57,6
22,2	3,9	14,3	172,2	0,55	6,1	6,4	48,1
38,2	5,0	19,2	140,7	0,86	6,9	5,3	53,8
56,2	5,1	16,2	148,9	0,75	2,7	6,8	41,0
97,2	4,7	14,8	148,5	0,77	6,8	0,2	37,8
22,3	3,0	13,8	136,9	1,05	3,4	2,2	50,0
38,3	5,1	16,7	143,5	0,81	4,5	2,1	52,2
56,3	4,2	14,0	147,6	0,81	2,6	1,1	72,0
97,3	3,8	*	*	*	5,1	1,7	40,9
22,3	2,8	15,3	164,4	0,68	5,5	1,7	35,2
38,3	4,7	17,9	151,2	0,74	2,8	3,4	54,0
56,3	4,0	14,0	152,3	0,76	5,9	2,1	32,0
97,3	2,0	*	*	*	0,9	6,6	70,9
22,3	4,3	14,8	128,5	1,08	4,6	2,7	41,7
38,3	1,8	6,0	163,2	0,76	5,9	2,1	50,6
56,3	3,9	11,6	155,4	0,73	2,8	2,2	50,0
97,3	*	*	*	*	4,0	0,0	61,5
22,4	1,9	14,1	182,5	0,54	0,7	0,8	66,6
38,4	5,1	16,8	150,4	0,73	4,8	1,1	54,7
56,4	3,0	11,4	162,5	0,70	2,7	0,6	62,8
97,4	2,7	5,1	161,5	0,73	1,7	0,7	50,0
22,4	2,7	16,3	165,7	0,67	5,5	2,3	37,0
38,4	4,9	17,4	144,6	0,81	2,6	0,5	43,9
56,4	2,8	12,1	157,7	0,76	4,0	1,7	62,9
97,4	3,0	14,1	159,1	0,74	0,8	0,4	87,5
22,4	2,0	12,1	148,9	0,94	0,2	0,6	38,1
38,4	3,0	13,0	160,5	0,72	5,0	1,1	50,6
56,4	2,9	10,7	152,2	0,83	3,1	0,8	66,3
97,4	2,8	13,0	162,7	0,70	1,7	1,0	69,5
5,1	3,7	13,1	136,5	1,00	10,7	6,4	39,6
49,1	4,1	13,6	127,7	1,11	13,3	7,4	30,6
72,1	4,4	13,3	122,2	1,19	8,4	10,5	27,8
80,1	2,9	9,9	147,7	0,89	6,9	15,0	51,5
5,1	5,1	14,9	129,3	1,02	4,0	*	58,7
49,1	4,2	13,7	145,2	0,84	12,1	*	31,7
72,1	4,0	13,7	132,8	1,03	10,3	*	29,0
80,1	2,8	10,0	141,9	0,99	9,4	*	47,7
5,1	4,2	15,9	143,6	0,86	10,6	*	49,6
49,1	4,1	10,6	119,9	1,26	8,9	*	42,6

VERVOLG AANHANGSEL 3 Basisgegevens snede 5, 1990

Nummer	Gloeiver- lies %	Vocht %	Dichtheid	Poriën- index	Line- intersect cm/cm <sup>3</sup>	Quantimet cm/cm <sup>3</sup>	Spoel- verl.%
72,1	4,8	14,6	152,4	0,72	14,1	*	34,0
80,1	5,0	14,6	139,8	0,87	8,2	*	38,3
5,2	4,6	20,3	155,3	0,69	6,1	1,3	49,9
49,2	3,8	16,0	160,5	0,68	3,7	3,8	64,6
72,2	4,3	16,6	166,9	0,59	4,6	1,7	51,0
80,2	4,1	16,2	158,7	0,68	5,7	1,4	54,6
5,2	5,0	20,7	149,9	0,74	8,2	0,2	50,2
49,2	4,4	18,6	149,7	0,77	3,4	4,0	59,7
72,2	3,9	14,2	160,7	0,67	4,0	3,8	44,8
80,2	3,9	14,9	152,9	0,76	5,9	6,2	52,4
5,2	3,8	15,3	146,8	0,85	6,2	0,1	57,8
49,2	3,9	15,9	160,2	0,68	7,2	1,2	41,7
72,2	3,9	15,7	167,1	0,60	5,2	1,5	48,8
80,2	4,9	12,3	157,9	0,65	4,5	1,3	59,2
5,3	3,9	15,7	126,5	1,15	4,6	0,4	57,4
49,3	3,8	17,7	159,7	0,68	5,7	0,7	41,6
72,3	3,8	11,9	144,7	0,87	3,7	1,6	47,7
80,3	3,0	13,9	150,6	0,85	2,7	4,0	62,6
5,3	4,8	22,1	129,3	1,04	7,2	0,3	38,7
49,3	4,0	18,4	151,7	0,77	7,2	3,4	41,5
72,3	4,0	18,8	151,2	0,78	4,2	1,3	53,5
80,3	2,7	12,1	171,5	0,61	5,4	0,6	48,3
5,3	4,0	5,6	148,4	0,81	7,2	0,3	55,6
49,3	4,9	13,8	151,8	0,72	5,6	0,6	56,5
72,3	5,0	18,0	144,6	0,81	6,9	2,5	43,1
80,3	2,8	12,1	161,7	0,72	3,3	0,0	48,7
5,4	4,0	25,3	157,8	0,70	5,0	0,0	60,7
49,4	3,8	21,1	155,2	0,74	1,5	1,6	69,9
72,4	3,1	19,4	161,5	0,70	0,4	1,3	83,0
80,4	1,9	12,0	156,9	0,84	2,1	0,7	56,5
5,4	3,8	25,6	155,1	0,74	2,6	1,0	52,2
49,4	4,7	23,0	146,4	0,80	4,3	2,1	47,6
72,4	5,0	18,8	147,4	0,77	3,0	2,6	51,1
80,4	1,8	13,0	171,5	0,66	2,0	3,9	63,0
5,4	2,8	13,2	155,3	0,79	6,4	1,3	44,9
49,4	4,1	14,9	144,4	0,86	6,7	1,8	45,1
72,4	3,9	19,8	154,7	0,74	3,8	0,9	43,2
80,4	2,9	1,2	135,1	1,09	1,8	0,3	43,6